

Modélisation d'un système de pompage photovoltaïque

Modeling a photovoltaic pumping system

Nedjem-Eddine BENCHOUIA^{#1}, Yahia BELLARAGUEB², Belgacem MADI³,
Mounir BENADJA⁴

^{#1} *Département de Génie Mécanique,
Faculté des sciences et de la Technologie,
Université Mohamed-Chérif Messaadia Souk Ahras, 41000, Algeria*
¹n.benchouia@univ-soukahras.dz

^{2,3} *Département de Génie Mécanique,
Faculté de la Technologie,
Université 20 aout 1955, Skikda, 21000 Algeria*
²b_madi2000@yahoo.fr

Département de Génie Électrique

⁴ *École de Technologie Supérieure (ÉTS), Montreal, Canada*
⁴mounir.benadja.1@ens.etsmtl.ca

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la modélisation et la simulation d'un panneau photovoltaïque destiné à entraîner une motopompe à travers d'un convertisseur DC-AC (onduleur). Dans notre analyse, on a conçu un système PV où le générateur PV est le module *isofoton* produisant, dans les conditions standards de test (CST), une puissance crête de 110W, un courant optimal de 3.38 A et une tension optimale de 43.2V.

En effet la caractéristique I(V) du générateur dépend de l'éclairement solaire et de la température. Ces variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale.

Les résultats de simulation obtenus sous Matlab/Simulink montrent la performance de comportement dynamique des systèmes photovoltaïques.

La confrontation des résultats obtenus par simulation avec celles expérimentales est indispensable.

Mots clés : modélisation simulation, systèmes photovoltaïques, convertisseur DC-AC (onduleur), motopompe.

.....
Abstract:

The work presented in this thesis concerns the modeling and simulation of a photovoltaic panel intended to drive a motor pump through a DC-AC converter (inverter).

In our analysis, we designed a PV system where the PV generator is the isofoton module producing, under standard test conditions (CST), a peak power of 110W, an optimal current of 3.38 A and an optimal voltage from 43.2V.

Indeed the characteristic I (V) of the generator depends on the solar illumination and the temperature. These climatic variations cause the fluctuation of the point of maximum power.

The simulation results obtained under Matlab / Simulink show the performance of dynamic behavior of photovoltaic systems.

The comparison of the results obtained by simulation with experimental ones is essential.

Key words: modeling, simulation, photovoltaic systems, DC-AC converter (inverter), motor pump.

1. INTRODUCTION

L'utilisation du photovoltaïque comme source d'énergie pour le pompage d'eau est considérée comme un des domaines les plus prometteurs d'application de l'énergie solaire. Les systèmes photovoltaïques de pompage d'eau exigent seulement qu'il ait suffisamment de soleil et une source d'eau. L'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage d'eau est appropriée, car il a souvent un rapport normal entre la disponibilité de l'énergie solaire et la demande de l'eau. La demande de l'eau augmente pendant des périodes de temps chaudes où l'intensité du rayonnement solaire est élevée et le rendement des modules solaire est maximal. D'autre part, la demande de l'eau diminue quand le temps est frais et la lumière du soleil est moins intense [1].

Dans cet article, nous étudions la modélisation du générateur photovoltaïque et l'influence des paramètres météorologiques (température et éclairage) sur les caractéristiques électriques de ce dernier.

Ainsi, la modélisation de l'onduleur et de motopompe sont présentées.

2. MODELISATION DU SYSTEME:

La modélisation est une étape nécessaire qui doit précéder toute phase de dimensionnement, d'optimisation ou de simulation du système. Le système proposé dans cette étude est un système de pompage photovoltaïque, Il est composé particulièrement d'un générateur photovoltaïque (PV), d'un convertisseur statique (l'onduleur) et d'un ensemble moteur-pompe.

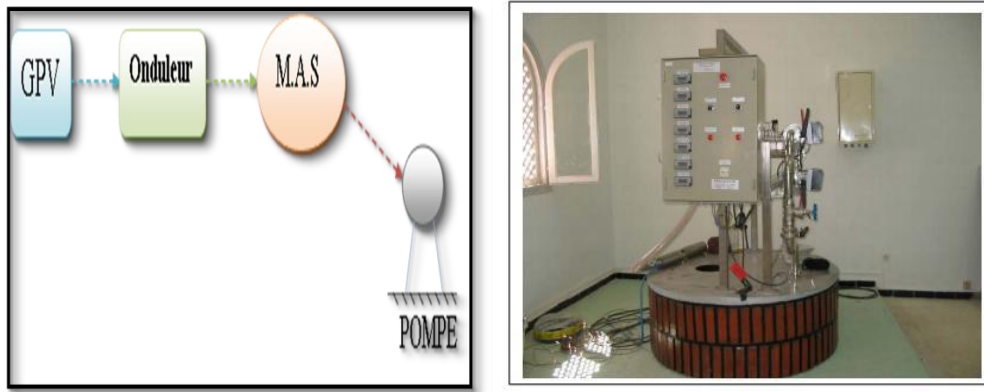


Fig.1 : structure du système étudié

2.1. Modèle du générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle standard à une seule diode, établi par Shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle. Caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction [2].

Les équations associées au modèle sont :

- ✓ La loi de Kirchhoff nous permet d'écrire la relation suivante :

$$I = I_{CC} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

Le courant de court-circuit donné par :

$$I_{CC} = \frac{E}{E_{ref}} I_{ccs} [1 + k_0(T - T_1)] \quad (2)$$

Le courant dans la diode est donné par :

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V_d + IR_s}{nV_s}} - 1 \right) \quad (3)$$

Avec :

$$V_s = \frac{KT}{q} \quad (4)$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} e^{\left(\frac{-qV_g}{nK} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right) \right)} \quad (5)$$

$$I_{0(T_1)} = \frac{I_{sc(T_1)}}{\left(e^{\frac{qV_{oc(T_1)}}{nKT_1}} - 1 \right)} \quad (6)$$

Le courant qui passe dans la résistance R_{sh} est donné par :

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

Donc, l'expression de la caractéristique I(V) est :

$$I = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{V_d + IR_s}{nV_s}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (8)$$

Avec :

V_s : la potentielle thermodynamique ; n : le facteur d'idéalité de la Jonction $1 < n < 3$

K : constant de Boltzmann ($1,38.10^{-23}$ J/K) ; q : charge de l'électron $\Rightarrow 1,602.10^{-19}$

T : température de la cellule en degré kelvin ; I_d : courant de la diode

I_{CC} : courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

I_0 : courant de diode, présente le courant de fuite interne à une cellule causée par la jonction; P - N de la cellule.

R_s : résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi conducteur, ainsi les résistances ohmique et contact au niveau des connexions des cellules.

R_{sh} : résistance shunt représente les fuites autour de la jonction P-N dues aux impuretés et sur les coins de cellule ; I_{sc} : courant de court circuit du panneau.

2.2. Modèle de l'onduleur

Le convertisseur statique utilisé dans notre travail est un onduleur de tension triphasé. Celui-ci est composé de six (06) interrupteurs [3].

Les interrupteurs des bras de l'onduleur sont commandés de manière complémentaires, si K_i est fermé alors est K_i' ouvert à partir des grandeurs logiques F_i et F_i' avec $F_i = \neg F_i'$ avec $i=1, 2, 3$

Donc nous pouvons écrire :

- $F_i=1(F_i' = 0)$: alors K_i est passant (K_i' est ouvert)
- $F_i=0(F_i' = 1)$: alors K_i est bloqué (K_i' est fermée)

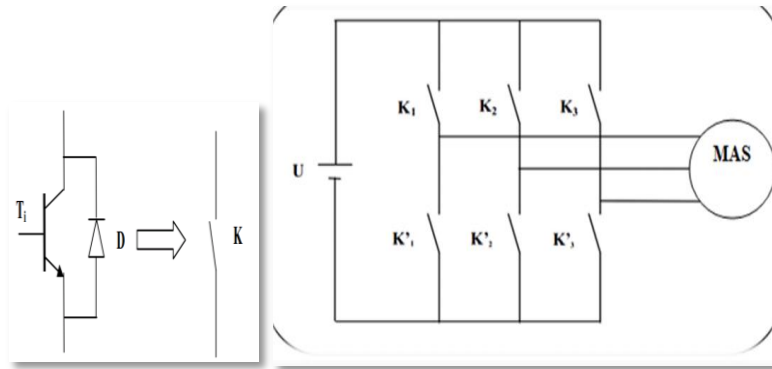


Fig.2: Onduleur triphasé

Les tensions simples aux bornes du moteur s'expriment comme suit :

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \frac{V_{pv}}{3} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{pmatrix} \quad (9)$$

2.3. Modélisation de la motopompe

2.3.1. Modèle du moteur asynchrone triphasée alimentée en tension

Après arrangement des équations, nous obtenons :

✓ **Equations électriques:**

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \Phi_{dr} \\ \phi_{qr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -h.\alpha & a.\alpha & b.\alpha & p.c.w_r.\alpha \\ -a.\alpha & -h.\alpha & p.c.w_r & b.\alpha \\ M/t_r & 0 & -1/t_r & w_s - p.w_r \\ 0 & M/t_r & w_s - p.w_r & -1/t_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ \Phi_{dr} \\ \phi_{qr} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{pmatrix} \quad (10)$$

✓ Equation mécanique :

$$\begin{cases} C_{em} = \frac{P.M}{\sigma.L_s.L_r} (\phi_{qs} \cdot \phi_{dr} - \phi_{ds} \cdot \phi_{qr}) \\ J \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r - f_r \cdot \Omega \end{cases} \quad (11)$$

Avec :

L_s : l'inductance propre de stator. L_r : l'inductance propre de rotor. f_r : coefficient de frottement ; $tr = L_r/R_r$; $ts = L_s/R_s$; $\sigma = 1 - (M^2/(L_s.L_r))$; $\alpha = 1/(\sigma.L_s)$; $h = R_s + M^2/(L_r.tr)$; $a = \omega_s \cdot L_s$ $b = M/(L_r.tr)$; $c = M/L_r$; $K_m = 3.p.M/(2.L_r)$.

2.3.2. Modèle de la pompe centrifuge

La courbe principale qui caractérise une pompe centrifuge et qui exprime ses performances et, pour une vitesse de rotation donnée est la courbe débit- hauteur ou $H = f(Q)$, elle exprime les variations des différentes hauteurs de relèvement en fonction de débit. Les constructeurs sont en mesure de fournir au client, les courbes $H(Q)$ maximale et minimale correspondant aux diamètres maximaux et minimaux possibles de la roue. Dans cette application, la charge de moteur est une pompe émergée monocellulaire à roue radiale. Elle est caractérisée par un modèle qui sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale H en fonction du débit Q . En prenant comme paramètre la vitesse de rotation du moteur [5].

✓ Équations caractéristiques

D'une façon générale les constructeurs de pompes ne donnent pas les paramètres physiques de la pompe. Seule la caractéristique de performance $H=f(Q)$ est donnée par le constructeur. Ainsi, connaissant les valeurs de vitesse, hauteur de charge et débit de référence, il est possible de déterminer celles du système à l'aide des formules empiriques suivantes :

$$H = k_0 \cdot \Omega^2 - k_1 \cdot \Omega \cdot Q - k_2 \cdot Q^2 \quad (12)$$

k_0, k_1, k_2 : des constantes propres de la pompe donnée par le constructeur.
 Ω Vitesse (rad/sec), H Hauteur (mètre), Q Débit (litre/min).

La caractéristique du réseau hydraulique est exprimée par la formule suivante :

$$h = h_0 + k_h Q^2 \quad (13)$$

Où: h_0 : La hauteur statique ; k_h : Constante de la canalisation tenant compte des pertes de charges laminaires et singulières. La hauteur manométrique totale d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et du refoulement.

La HMT est déterminée à partir de la hauteur géométrique et de la perte de charge maximale, pour déterminer les caractéristiques du moteur et de la pompe en utilisant les relations de similitude.

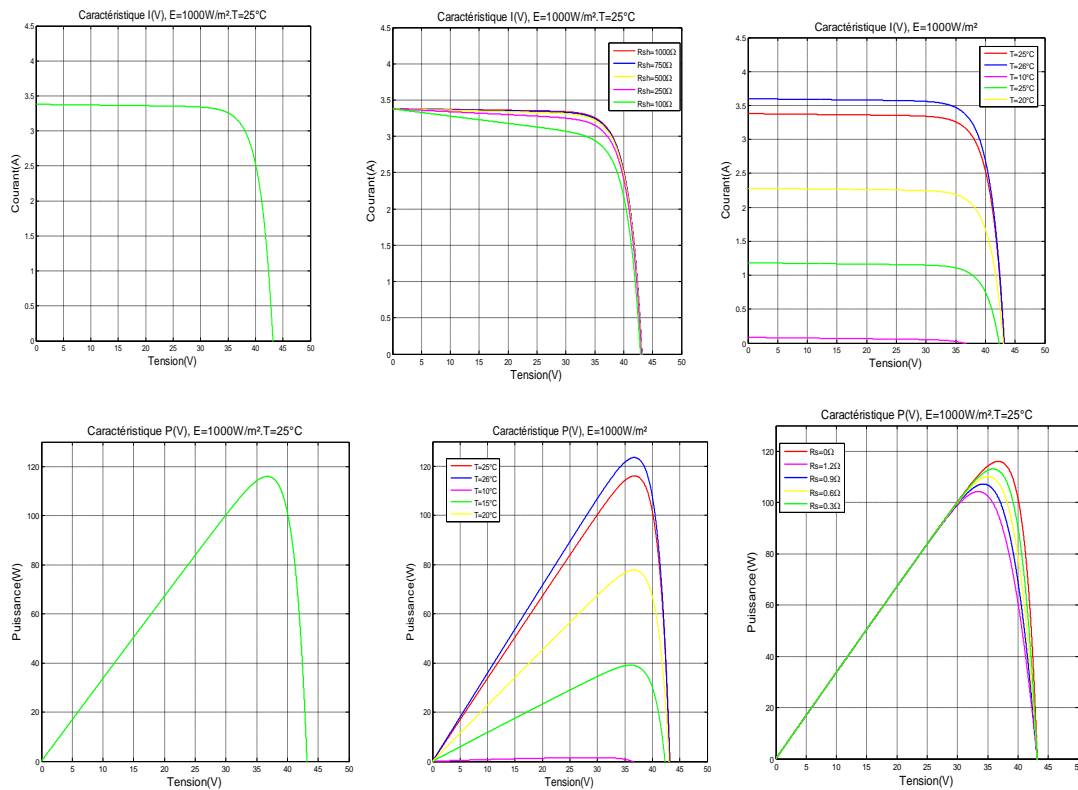
$$Q = f(n) \quad \text{Où} \quad \frac{Q}{Q_{ref}} = \frac{n}{n_{ref}} \quad (14)$$

$$Q = f(n^2) \quad \text{Où} \quad \frac{H}{H_{ref}} = \left(\frac{n}{n_{ref}}\right)^2 \quad (15)$$

$$Q = f(n^3) \quad \text{Où} \quad \frac{P}{P_{ref}} = \left(\frac{n}{n_{ref}}\right)^3 \quad (16)$$

Valeurs de référence respectivement de la vitesse, le débit, la puissance et la hauteur.

3. RESULTATS DE SIMULATION & DISCUSSIONS



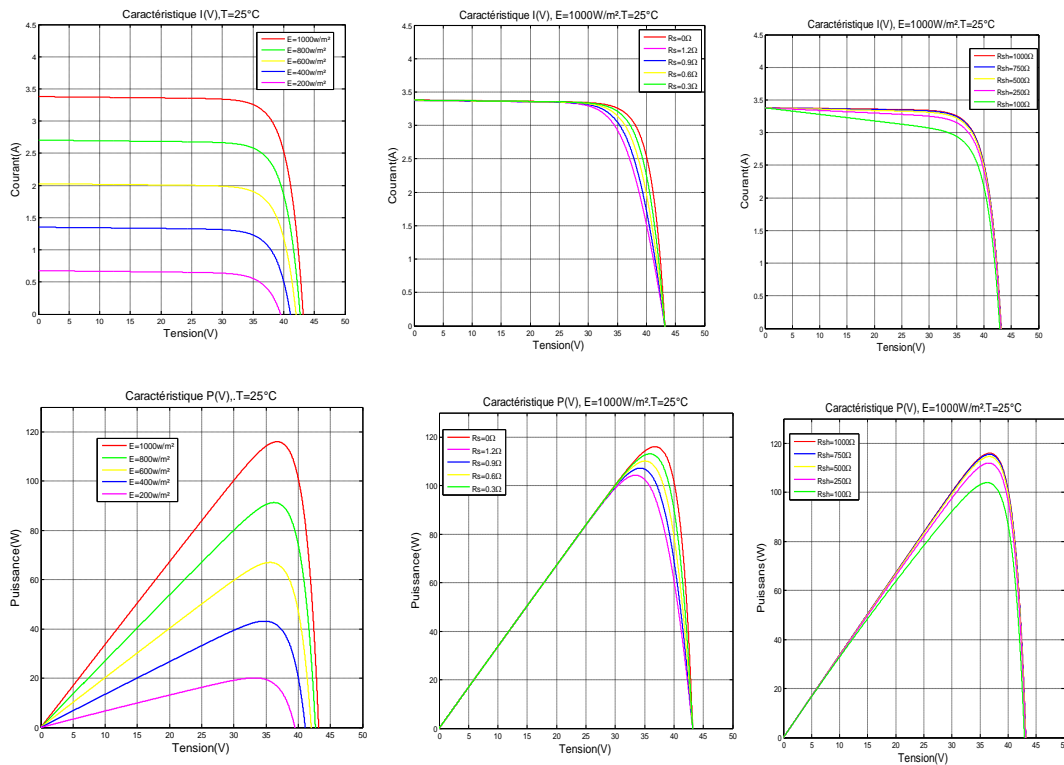


Fig.3 : Paramètres qui influent sur les caractéristiques $I=f(v)$ et $P=f(v)$ de GPV

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel MATLAB.

L'augmentation de l'éclairement G provoque une augmentation ou le générateur fonctionne comme un générateur de courants mais il y a une légèrement augmentation pour la tension en circuit ouvert.

Pour la figure (3) on remarque que pour l'éclairement $G=1000 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{sc}=3.47\text{A}$ et pour $G=200\text{w/m}^2$ le courant $I_{sc}=0.6\text{A}$, on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement, car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique.

Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté (figure 3).

Pour la figure (3) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente (figure 3).

La tension de sortie du l'onduleur obtenue après la simulation, Ce résultat montre que la tension de sorti est supérieur à celle d'entrée .donc l'onduleur effectué correctement son rôle (figure 4).

Le groupe moteur-pompe choisi est de marque Grundfos de type immergée modèle SQF5A-6 avec moteur MSF3 dont les performances sont les suivantes : puissance 900W VDC 30-300V VAC 1x90V max courant 7A.

Le couple moteur sans charge atteint la valeur permanent à $t=1.57s$ après un démarrage à vide (figure 4).

On remarque quand le débit augmente jusqu'à la valeur 0.9 l/mn la hauteur atteint 118 m, (figure 4).

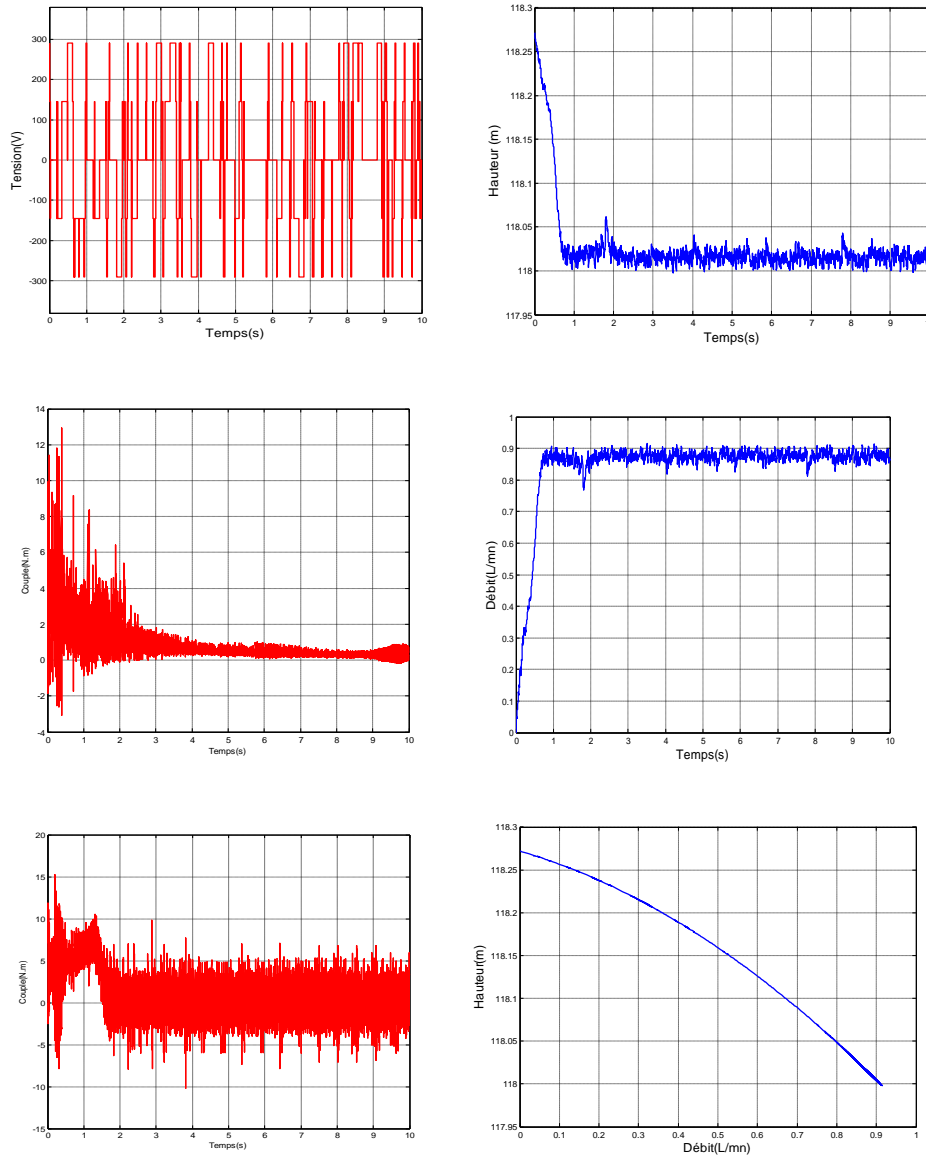


Fig.4: Simulation de l'onduleur et la motopompe

4. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons présenté la modélisation (modèles mathématiques) des différents éléments de système de pompage : générateur de PV, l'onduleur, moteur asynchrone et la pompe centrifuge.

Nous avons montré bien l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule, et on constate que la puissance ne dépend pas seulement de la température mais dépend aussi de l'éclairement.

Les performances obtenues par la chaîne proposée sont très prometteuses quant à l'utilisation de ce type de chaîne pour le pompage photovoltaïque dans les régions isolées.

REFERENCES

- [1] S. BOUKHALFA, H. BOUMAARAF and A. TALHA « Performances d'un système de pompage photovoltaïque utilisant un convertisseur multiniveaux » 2 International Conference on Energy and Sustainable Development 19-20 February 2013 Ghardaïa, Algeria.
- [2] W.BENSACI « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT » Mémoire de Master Année universitaire : 2011/2012.
- [3] F.LABRIQUE, G.SEGUIER, R.BAUSSIERE « Les convertisseurs de l'électronique de puissance, la conversion continu – alternatif » Tec.Doc.Paris 1995.
- [4] R.HERZOG.Heig-VD, MANDATAIRE « A.Wacinski.Eothème Sàrl, Travail de diplôme Développement d'une maquette d'éolienne contra-rotative » Suisse, 2008.
- [5] M. ALI « Modélisation et simulation du module photovoltaïque(ATERSA75) » Mémoire de Master en Mécatronique, Université de BOUMERDES, Algeria, 2009.