

# Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque sans batterie commandé par mode de glissement

Mohamed-Abdellatif KHALFA <sup>1,2</sup>, Anis SELLAMI <sup>1,2</sup>, Ridha ANDOULSI <sup>2</sup>, Radhi M'HIRI <sup>3</sup>

<sup>2</sup>Laboratoire de Nanomatériaux et de Systèmes d'Énergies au Centre de Recherches et des Technologies de l'énergie au Technopôle de Borj-Cédria Route Touristique de Soliman, B.P. N°95, 2050 Hammam-Lif, Tunisie

[Ridha.Andoulsi@crtcn.rnrt.tn](mailto:Ridha.Andoulsi@crtcn.rnrt.tn)

<sup>1</sup> Unité de Recherche C3S, à l'école Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis (ESSTT)  
5 Avenue Taha Hussein, BP, 56, Bâb Manara, Tunis. - Tunisie

[Lotfi.Khalifa@isetn.rnu.tn](mailto:Lotfi.Khalifa@isetn.rnu.tn), [anis.sellami@esstt.rnu.tn](mailto:anis.sellami@esstt.rnu.tn),

<sup>3</sup>Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire 2092 El Manar Tunis- Tunisie

[Radhi.Mhiri@yahoo.fr](mailto:Radhi.Mhiri@yahoo.fr)

**Résumé**—Le travail présenté dans cet article étudie la modélisation et la commande par mode glissant (CMG) d'un système de pompage photovoltaïque (PV) au fil de soleil. Nous avons utilisé la structure du pompage PV à deux convertisseurs statiques pilotés par mode glissant de manière indépendante, c'est l'apport du notre papier par rapport à la littérature. Le système est constitué d'une pompe centrifuge entraînée par un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage d'écureuil, lui-même alimenté en tension grâce à un onduleur de tension triphasé à modulation des largeurs des impulsions sinus triangle (MLI). Afin d'optimiser leur rendement énergétique quelque soient les conditions météorologiques, nous avons intercalé entre l'onduleur et le générateur photovoltaïque (GPV) un adaptateur de point de puissance maximale connue sous le nom de MPPT (Maximum Power Point Tracking). Parmi les diverses techniques des MPPT présentées dans la littérature, nous avons adopté l'algorithme de perturbation et observation (P&O). Enfin, des travaux de simulation fournis permettent de dégager les performances dynamiques de la structure proposée.

**Mots-clés**— Commande par mode glissant, pompage photovoltaïque au fil de soleil, adaptateur MPPT, hacheur, onduleur triphasé MLI, groupe motopompe asynchrone triphasé.

## I. INTRODUCTION

L'énergie solaire reçue par la terre représente par an près de 15 000 fois la totalité de la consommation énergétique mondiale actuelle (CRDP Nantes). Devant les contraintes environnementales exigées d'une part et l'augmentation du coût de production de l'électricité d'autre part, la tendance actuelle est orientée vers l'exploitation des sources d'énergie renouvelables. Beaucoup de travaux de recherche ont été effectués dans ces dernières années visant la maîtrise des énergies renouvelables et de les rendre plus fiables et moins coûteuses à grande échelle. L'exploitation de cette énergie non polluante, peut se faire de trois manières: thermique, thermodynamique et photovoltaïque.

Le système photovoltaïque de pompage le plus courant, selon l'état de l'art actuel, est au fil de soleil tel que le

stockage s'effectue indirectement sous forme d'eau dans un réservoir. Cette solution est plus économique et très appréciée de point de vue environnemental en raison de l'élimination de la batterie et son circuit de charge.

L'adaptateur MPPT est la clé des succès des applications PV. Le point de puissance maximale du système de pompage PV dépend de, la charge, l'éclairement et la température. A cet effet, de nombreux algorithmes sont présentés dans la littérature [1-4] P&O, la conductance incrémentielle, Fraction de la tension circuit ouvert, Fraction du courant de court-circuit, etc. Dans notre papier, nous avons adopté la technique P&O. Le moteur asynchrone (MAS) occupe une place très importante dans l'industrie et les transports. Il est apprécié pour sa robustesse, son faible coût d'achat et d'entretien. Toutefois, sa commande est plus difficile à réaliser par rapport aux machines à courant continu. De nombreuses stratégies ont été développées pour en faire une machine qui dépasse les autres, même dans les systèmes contrôlés. Cependant, son association avec un GPV présente des difficultés majeures à cause de la complexité du modèle global obtenu. Parmi les travaux qui ont traité la commande des machines électriques alimentées par des sources photovoltaïques, on peut citer les références [1], [2], [5], [9], [10] et [13].

En général, la commande de la MAS est divisée en deux classes:

- commande à faible coût et faible performance (par exemple la commande  $V/f$ )
- commande avec haute performances et un coût raisonnable (par exemple la CMG, ...)

Dans ce papier, nous montrons l'importance de l'application de la CMG au système de pompage PV au fil de soleil, cette commande développée assure de faire converger respectivement, la vitesse du rotor et le carré du module du flux rotorique vers leurs références.

Ce document est organisé comme suit: la première section présente l'introduction. Ensuite, la deuxième section expose le modèle du GPV, le hacheur survolteur, l'algorithme MPPT,

l'onduleur triphasé MLI et le groupe motopompe asynchrone triphasé. Par la suite, la troisième section montre l'application de la CMG. Enfin, quelques résultats de simulation et des interprétations des courbes sont exposés. La figure 1 montre la structure proposée.

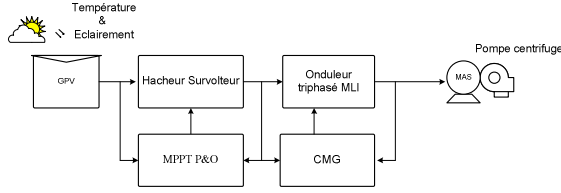


Fig. 1. Schéma de principe de pompage photovoltaïque

## II. MODELISATION DU SYSTEME GLOBAL

### A. Modélisation du panneau PV au GPV

Le circuit électrique équivalent d'une cellule PV est tracé sur la Fig. 2 selon [5] et [6], c'est le modèle avec une diode unique.

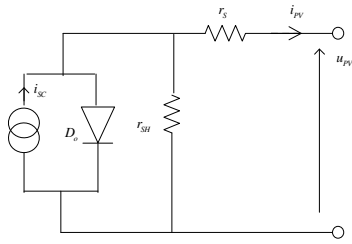


Fig. 2. Le circuit électrique équivalent d'une cellule PV

L'équation caractéristique courant tension d'une cellule PV est donnée comme suit par la relation (1) d'après [7].

$$i_{PV,CST} = i_{CC,CST} \left[ 1 - K_1 \left[ \exp \left( K_2 u_{PV,CST}^m \right) - 1 \right] \right] \quad (1)$$

Grace aux données extraites de la table I, nous avons calculé les constantes \$K\_3\$, \$K\_4\$, \$m\$ et \$K\_2\$ respectivement par les relations suivantes :

$$K_1 = 0.01175 \quad m = \frac{\ln \left( \frac{K_3}{K_4} \right)}{\ln \left( \frac{u_{MPP,CST}}{u_{CO,CST}} \right)} \quad (2)$$

$$K_4 = \ln \left( \frac{1 + K_1}{K_1} \right) \quad K_2 = \frac{K_4}{u_{CO,CST}^m}$$

$$K_3 = \ln \left( \frac{i_{CC,CST} (1 + K_1) - i_{MPP,CST}}{K_1 i_{CC,CST}} \right)$$

Les conditions standard test (CST) sont :

- l'éclairement \$E\_{CST} = 1000W/m^2\$ ;
- la température de la cellule \$T\_{CST}=25^\circ C\$ ;
- la masse d'air \$AM=1,5\$.

Nous notons le point du puissance maximale par PPM.

Le générateur photovoltaïque utilisé dans ce système est le « Solar module SP150 » fabriqué par SIEMENS, ayant leurs caractéristiques sont énumérées dans le tableau I :

TABLE I : CARACTERISTIQUES DU GENERATEUR PV SP150

Paramètres électriques du panneau utilisé dans CST	
La puissance au PPM en CST	\$P_{MPP,CST}=150W\$
le courant au PPM en CST	\$i_{MPP,CST}=4,4 A\$
la tension au PPM en CST	\$u_{MPP,CST}=34 V\$
le courant de court-circuit en CST	\$i_{CC,CST}=4,80 A\$
la tension à vide en CST	\$u_{CO,CST}=43,4 V\$

Paramètres thermiques du panneau pour l'éclairement \$800 W/m^2\$, la température ambiante \$T_A=25^\circ C\$ et la vitesse du vent \$V_v=1 m/s\$,	
Température nominale	\$NOCT=45\pm 2^\circ C\$
Température ambiante ailleurs STC	\$T_A=25^\circ C\$
Température ambiante en STC	\$T_{A,REF}=20^\circ C\$
Coefficient de température du \$i_{SC}\$	\$\alpha_{i_{sc}}=2,06 mA/^\circ C\$
Coefficient de température de la \$u_{OC}\$	\$\alpha_{u_{oc}}=-0,077 V/^\circ C\$
Résistance de connexion du panneau	\$r_s=0,035\Omega\$

L'expression (1) est vraie uniquement dans la CST. Pour d'autres valeurs de l'éclairement \$E\$ et de la température \$T\_A\$, les nouvelles valeurs du courant et de la tension du panneau PV sont déduites par les relations (3-7) selon [7] et [8].

$$T_c = T_A + \frac{E}{800} (NOCT - T_{A,REF}) \quad (3)$$

$$\Delta T = T_c - T_{STC}$$

$$\Delta i_{PV} = \alpha_{i_{sc}} \frac{E}{E_{STC}} \Delta T + \left( \frac{E}{E_{STC}} - 1 \right) i_{sc,STC} \quad (4)$$

$$i_{PV} = i_{PV,STC} + \Delta i_{PV} \quad (5)$$

$$\Delta u_{PV} = -\alpha_{u_{oc}} \Delta T - r_s \Delta i_{PV} \quad (6)$$

$$u_{PV} = u_{PV,STC} + \Delta u_{PV} \quad (7)$$

Dans le cas générale, le GPV est composée de \$N\_{BPG}\$ branches en parallèles, chaque branche est constituée de \$N\_{MSB}\$ modules en série, et chaque module est constitué par \$N\_{CSM}\$ cellules en série [3]. Le courant \$I\_{PV}\$ délivré par le GPV et sa tension \$U\_{PV}\$ correspondante sont les suivants:

$$\begin{cases} I_{PV} = N_{BPG} i_{PV} \\ U_{PV} = N_{MSB} u_{PV} \end{cases} \quad (8)$$

Le GPV utilisé dans ce travail est formé de dix modules PV, ces derniers sont connectés en série, la puissance crête totale du GPV est de \$1500W\$, sa tension à vide est \$434 V\$, son courant de court-circuit de \$4,8 A\$, et son courant optimal est \$4,4 A\$.

### B. Le modèle du hacheur survolteur

Les hacheurs élévateurs de tension, sont fréquemment utilisés dans des applications photovoltaïques, en particulier dans le pompage photovoltaïque. La modélisation du hacheur survolteur est obtenue par l'application de lois fondamentales

régissant le fonctionnement du système. Un convertisseur élévateur est un convertisseur de puissance avec une tension de sortie DC supérieure à sa tension d'entrée DC. Les composants fondamentaux du mode de commutation d'alimentation sont les deux interrupteurs statiques en semi-conducteurs (une diode D et un transistor Q de type MOSFET, IGBT ou BJT), un condensateur réel à l'entrée R//C pour transformer le GPV en une source de tension et un condensateur réel à sa sortie R<sub>1</sub>/C<sub>1</sub> afin de transposer la charge à une source de tension [9].

Le schéma de base est illustré par la figure 3.

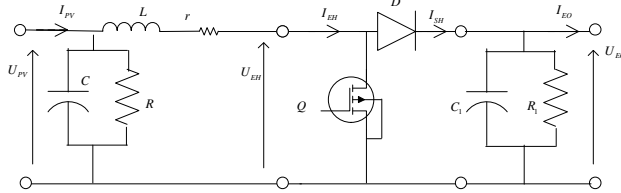


Fig. 3. Le schéma de base d'un hacheur survolteur.

Le principe de base de fonctionnement du hacheur survolteur se résume en deux états distincts:

- Lorsque le transistor Q est à l'état fermé t<sub>ON</sub> le courant dans l'inductance (L, r) augmente et l'énergie sera stockée dans l'inductance;
- Lorsque le transistor Q est à l'état ouvert t<sub>OFF</sub>, le courant continue à traverser l'inductance à travers la diode D.

La période de commutation T et le rapport cycle variable α sont définis par les relations suivantes:

$$\begin{cases} T = t_{ON} + t_{OFF} \\ \alpha = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \end{cases} \quad (9)$$

Les grandeurs électriques moyennes d'entrée/sortie du hacheur sont liées par la relation suivante :

$$\frac{u_{SH}}{u_{EH}} = \frac{i_{EH}}{i_{SH}} = \frac{1}{1-\alpha} \quad (10)$$

### C. MPPT P&O basé sur le hacheur survolteur

Aujourd'hui, un certain nombre d'algorithmes MPPT ont été proposées dans la littérature, y compris le P&O [3-4], la méthode de la tension à vide, la méthode du courant de court-circuit [12], l'algorithme de conductance incrémental [13-14] et la méthode du réseau de neurones artificiels [11]. L'algorithme MPPT P&O est le plus couramment utilisé dans les produits commerciaux PV [10-12]. L'algorithme P&O est détaillé par les figures 4 & 5 [2].

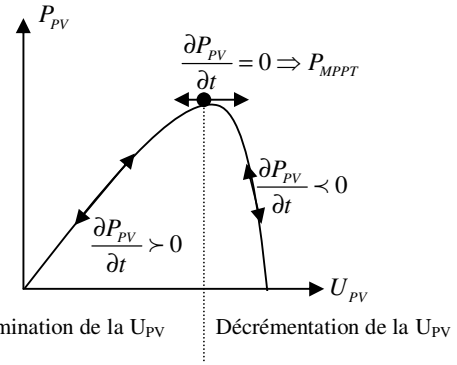


Fig.4. Caractéristique P<sub>PV</sub>(U<sub>PV</sub>) [2].

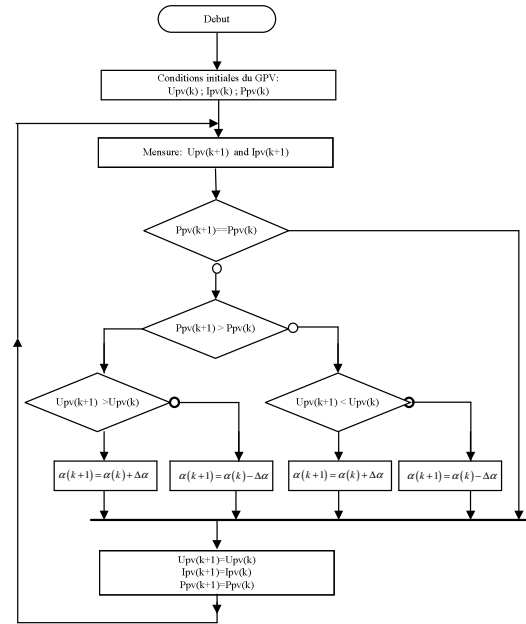


Fig. 5. L'algorithme MPPT P&O [2].

### D. Modélisation de l'onduleur de tension triphasé MLI

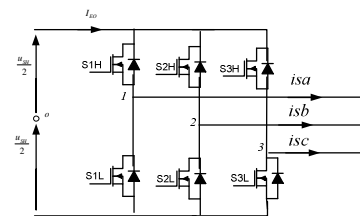


Fig. 6. Onduleur de tension triphasé MLI

La méthode la plus commune de contrôle utilisé aujourd'hui compare les commandes de tension pour chaque phase avec une forme d'onde triangle unique. Les commandes peuvent être déduites de trois organismes de réglementation des phases individuelles de tension. Les composants électroniques sont censés être parfait (commutation instantanée, pas de chute de tension à la réalisation d'État). Les trois inverseurs de phase se composent de trois branches indépendantes qui comprennent chacune deux interrupteurs. Chaque commutateur est composé d'un transistor (IGBT, MOSFET ...) et d'une diode couplée en parallèle. La relation liant le système des courants

de sortie de l'onduleur avec le courant de son entrée est la suivante:

$$i_{EO} = i_{sa} S_{1H} + i_{sb} S_{2H} + i_{sc} S_{3H} \quad (11)$$

Les interrupteurs de chaque bras inverseur sont complémentaires, il en est de même pour les signaux de commande correspondants, ainsi on obtient:

$$S_{1L} = 1 - S_{1H} \quad S_{2L} = 1 - S_{2H} \quad S_{3L} = 1 - S_{3H}$$

$$S_i = \begin{cases} 1 \rightarrow S_{iH} : on, S_{iL} : off \\ 0 \rightarrow S_{iH} : off, S_{iL} : on \end{cases} \quad (12)$$

Le stator est couplé en étoile sans fil neutre, d'après la Fig. 6, on déduit les équations de tensions étoilées suivantes :

$$\begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \\ u_{sc} \end{bmatrix} = \frac{u_{EO}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{1H} \\ S_{2H} \\ S_{3H} \end{bmatrix} \quad (13)$$

avec  $u_{sa} + u_{sb} + u_{sc} = 0$

#### E. Modélisation du groupe motopompe asynchrone triphasé

Dans un repère biphasé de Park (d, q) tournant à la vitesse de synchronisme  $\omega_{dq} = \omega_s$ , le modèle mathématique du groupe motopompe asynchrone en régime transitoire s'écrit sous la forme des équations d'états non linéaires de la forme suivante [1] et [15].

$$\dot{x}(t) = F(x(t), \omega_{dq}) + G(x(t), \omega_{dq}, u(t)) \quad (14)$$

Le vecteur de commande  $u = [u_1 \ u_2]^T$  qui désigne respectivement  $u = [v_{sd} \ v_{sq}]^T$ ; Le vecteur d'état est  $x(t) = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T$  qui désigne respectivement  $x(t) = [i_{sd} \ i_{sq} \ \phi_{rd} \ \phi_{rq} \ \omega]^T$ ;  $v_{sd}, v_{sq}$  désignent les deux composantes respectivement directe et quadratique de la tension statorique;  $i_{sd}, i_{sq}$  les deux composantes respectivement directe et quadratique du système triphasé des courants statorique;  $\phi_{rd}, \phi_{rq}$  les deux composantes respectivement directe et quadratique du système triphasé des flux rotorique;  $\omega$  la vitesse électrique du rotor en rad/s et  $\omega_s$  la vitesse électrique de synchronisme du stator.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + b_1 u_1 \\ \dot{x}_2 = -a_2 x_1 + a_4 x_3 - a_4 x_5 x_3 + a_3 x_4 + b_1 u_2 \\ \dot{x}_3 = a_5 x_1 + a_6 x_3 + (a_2 - x_5) x_4 \\ \dot{x}_4 = a_5 x_2 - (a_2 - x_5) x_3 + a_6 x_4 \\ \dot{x}_5 = a_7 (x_3 x_2 - x_4 x_1) + a_8 (C_r - C_f) \end{cases} \quad (15)$$

Avec:

$$a_1 = -\left(\frac{1}{\sigma \tau_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma \tau_r}\right) \quad a_5 = \frac{M_{sr}}{\tau_s} \quad b_1 = \frac{1}{\sigma L_s} \quad (16)$$

$$a_2 = \omega_{dq} \quad a_6 = -\frac{1}{\tau_r} \quad \sigma = 1 - \frac{M_{sr}^2}{L_s L_r}$$

$$a_3 = \frac{1-\sigma}{\sigma M_{sr} \tau_r} \quad a_7 = \frac{3 n_{pp}^2 M_{sr}}{2 J L_r} \quad \tau_s = \frac{L_s}{R_s}$$

$$a_4 = \frac{1-\sigma}{\sigma M_{sr}} \quad a_8 = -\frac{n_{pp}}{J} \quad \tau_s = \frac{L_s}{R_s}$$

$$\omega = n_{pp} \Omega \quad \omega_s = 2 \pi f_s$$

Nous désignons par  $R_s, R_r$  les résistances par phases du stator et du rotor;  $M_{sr}$  l'inductance mutuelle cyclique stator-rotor;  $L_r, L_s$  l'inductance cyclique respectivement du rotor et stator;  $\tau_r, \tau_s$ : la constante de temps respectivement du rotor et stator;  $\sigma$ : Le coefficient de dispersion totale;  $n_{pp}$  le nombre de paires de pôles;  $J$  le moment d'inertie. Le couple résistif  $C_r$  en Nm est défini par:

$$C_r = K_{ch} \omega^2 \quad (17)$$

Le couple de frottement visqueux  $C_f$  en Nm défini par :

$$C_f = F \omega \quad (18)$$

$K_{ch}$  note la constante de la pompe centrifuge;  $F_v$  le frottement visqueux. L'expression du couple électromagnétique en fonction du flux rotoriques et des courants statorique est

$$C_{ém} = \frac{3}{2} n_{pp} \frac{M_{sr}}{L_r} (\phi_{rd} i_{sq} - \phi_{rq} i_{sd}) \quad (19)$$

#### IV. APPLICATION DE LA CMG

L'approche que nous proposons est une commande non linéaire basée sur la théorie des systèmes à structure variable avec mode glissant. Dans cette partie, notre intérêt est de construire une loi de commande permettant de converger les sorties vers leurs valeurs de références en entraînant la surface de glissement vers zéro. Le vecteur des erreurs  $\varepsilon$  de poursuite considéré est celui de la vitesse électrique de rotor  $\omega$  et du carré du module de flux rotorique  $\phi$  [8].

$$\phi = \phi_{rd}^2 + \phi_{rq}^2 \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 = \omega - \omega_{ref} \\ \varepsilon_2 = \phi - \phi_{ref} \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

Nous désignons par  $\phi_{ref}$  le flux de référence;  $\omega_{ref}$  la vitesse électrique du rotor de référence. Les équations différentielles régissant le mode glissant sont données par [3], [5] et [8]:

$$\begin{bmatrix} s_1 = \dot{\varepsilon}_1 + k_a \varepsilon_1 \\ s_2 = \dot{\varepsilon}_2 + k_b \varepsilon_2 \end{bmatrix} S = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Avec  $k_a$  et  $k_b$  assurent la stabilité du système lorsqu'il est en mode glissant.

$$\begin{bmatrix} \dot{s}_1 \\ a_7 \\ \dot{s}_2 \\ \frac{T_r}{2} \end{bmatrix} = [F] + [D][U] \quad \text{avec:} \quad \begin{cases} \det[D] \neq 0 \\ [F] = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (22)$$

Au moment de glissement on a:

$$[U_{eq}] = -[D]^{-1}[F] \quad (23)$$

Ainsi la détermination de la tension de commande  $[U_{nl}]$  est liée à la condition de stabilité de Lyapunov ; elle est régie par [8] :

$$[U_{nl}] = -[D]^{-1} \begin{bmatrix} u_{01} \text{sign}(s_1) \\ u_{02} \text{sign}(s_2) \end{bmatrix} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} u_{01} > \|F_1\| \\ u_{02} > \|F_2\| \end{cases} \quad (24)$$

La loi de commande est donnée par :

$$[U] = [U_{eq}] + [U_{nl}] \quad (25)$$

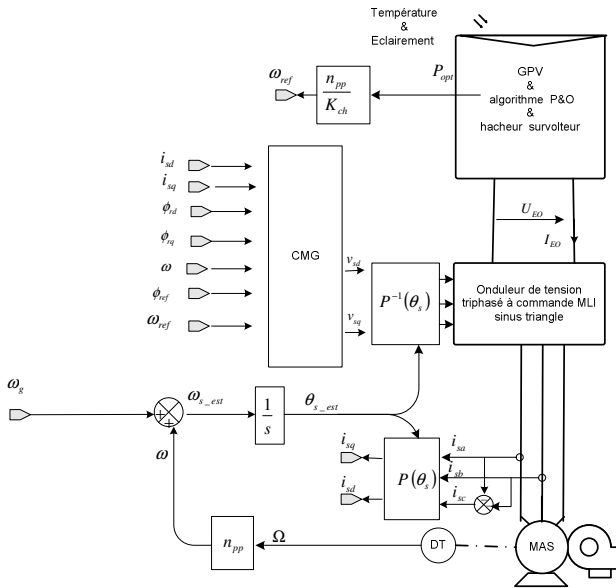


Fig.7. La structure de la CMG d'un système de pompage PV

## V. RESULTATS DE SIMULATION

Dans le cadre de cette application, les paramètres du groupe motopompe asynchrone triphasé sont donnés par le tableau II.

TABLE II  
CARACTERISTIQUES DU MOTOPOMPE ASYNCHRONE

$P_u = 1,1 \text{Kw}$	$L_s = 0.5821 \text{H}$	$F_v = 0.004 \text{Nm/rad/s}$
$N = 1440 \text{tr/min}$	$L_r = 0.5821 \text{H}$	$n_{pp} = 2$
$R_s = 8.87 \Omega$	$f_i = 3500 \text{Hz}$	$K_{ch} = 8.0197 * 10^{-5}$
$R = 6.95 \Omega$	$J = 0.01 \text{Kgm}^2$	$M_{sr} = 0.55452 \text{H}$

Les gains de réglage qui assurent le mode de convergence et la stabilité en mode glissant sont:  $k_a = 450$ ;  $k_b = 490$ ;  $u_{01} = 2,5$  et  $u_{02} = 1,75$ . Toutes les simulations sont réalisées avec

MATLAB 7.5. Les résultats sont illustrés par les figures suivantes :

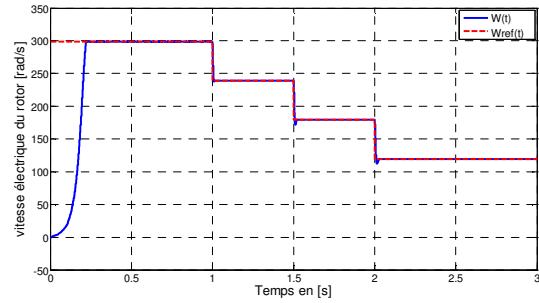


Fig.8. Vitesse électrique du rotor avec sa référence

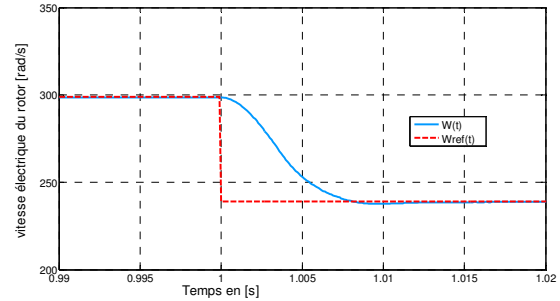


Fig. 9. Zoom W(t) avec sa référence pour  $t \in [0.99 \ 1.02]$

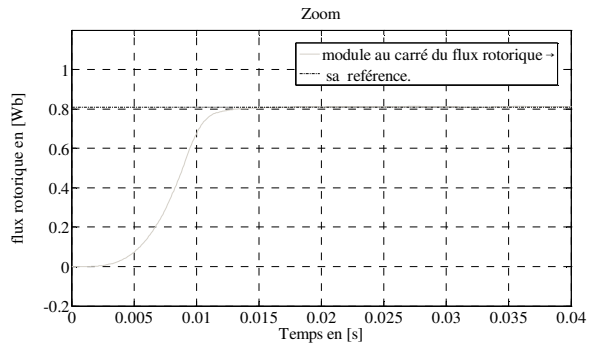


Fig.10. Module au carré de flux rotorique avec sa référence

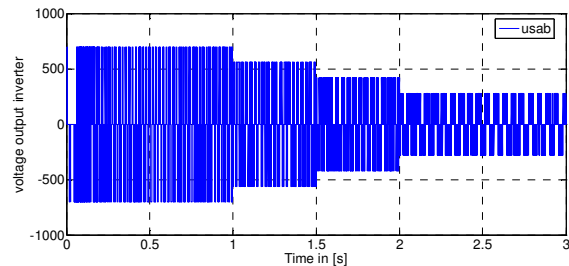


Fig.10. Tension composée de l'onduleur à commande MLI

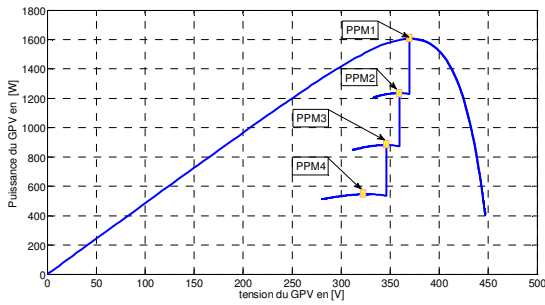


Fig.12. Effet de l'éclairement sur la caractéristique  $P_{PV}(U_{PV})$

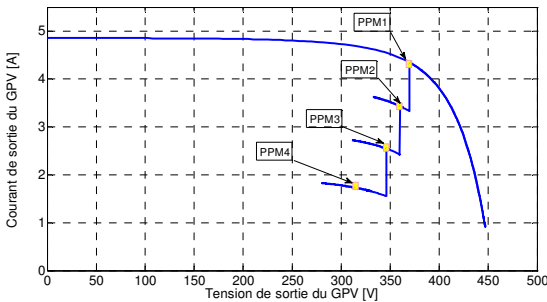


Fig.13. Effet de l'éclairement sur la caractéristique  $I_{PV}(U_{PV})$

Les résultats de simulation montrent bien :

- les hautes performances du réglage par mode glissant sont claires puisque la régulation du flux rotorique est correcte, en effet le dépassement maximal est de l'ordre de 3 % et le temps de réponse ne dépasse pas 15 ms et l'asservissement de sa vitesse est impeccable où son dépassement maximal est de 2 % et le temps de régime transitoire ne dépasse pas 8 ms.
- L'efficacité de la commande MPPT par la technique P&O est justifiée quelque soit la perturbation externe (éclairage, température) sur le GPV. Le hacheur survolteur permet la poursuite en temps réel du PPM du GPV quelque soient les conditions météorologiques. La table III récapitule l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques  $P_{PV}(U_{PV})$  et  $I_{PV}(U_{PV})$  pour une température  $25^{\circ}\text{C}$ .

TABLE III

Temps [s]	$t \in [0 \ 1]$	$t \in [1 \ 1,5]$	$t \in [1,5 \ 2]$	$t \in [2 \ 3]$
PPM	PPM <sub>1</sub>	PPM <sub>2</sub>	PPM <sub>3</sub>	PPM <sub>4</sub>
E [W/m <sup>2</sup> ]	1000	800	600	400
$U_{PPM}$ [V]	371	359	345	326
$I_{PPM}$ [A]	4,33	3,44	2,55	1,68
$P_{PPM}$ [W]	1606	1235	881	547

## V. CONCLUSION

La modélisation et l'optimisation d'un système de pompage PV au fil de soleil commandé par mode glissant ont été décrites dans ce travail. Nous avons utilisé la structure du

pompage PV à deux convertisseurs statiques pilotés par mode glissant de manière indépendante. Ce papier montre bien, que le hacheur survolteur permet la poursuite de la puissance optimale délivrée par le générateur PV en fonction de l'ensoleillement. De même, la commande en mode glissant de l'onduleur assure la convergence de la vitesse du rotor et le carré du module du flux rotorique à leurs références.

## VI. REFERENCES

- [1] I. S. Kim, M. B. Kim, and M. J. Youn, "New maximum power point tracker using sliding-mode observer for estimation of solar array current in the grid-connected photovoltaic system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 4, pp. 1048–1054, Aug. 2006.
- [2] Bahgat.A.B.G, Helwab.N.H, Ahmad.G.E and El Shenwyb.T: "Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks", Renewable Energy. Vol. 30, pp. 1257–1268, 2005.
- [3] Hua.C and Latin.J" An on-line MPPT algorithm for rapidly changing illuminations of solar arrays "Renewable Energy, pp1129-1142, 2003.
- [4] Trishan E and Patrick L: " Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, NO. 2, June 2007, pp439-449.
- [5] L. Wu, Z. Zhao and J. Liu, "A single-stage three-phase grid-connected photovoltaic system with modified MPPT method and reactive power compensation," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, No. 4, pp. 881–886, 2007.
- [6] S. Liu and R. A. Dougal, "Dynamic multiphysics model for solar array," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 17, no. 2, pp. 285–294, Jun. 2002.
- [7] S Rauschenbach, " Solar cell Array Design Handbook, Van Nostrand Reinhold company, 1980.
- [8] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, "Maximum Power Point Tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEE proceedings of Generation, Transmission and Distribution, vol. 142, no. 1, Jan. 1995.
- [9] Mohamed Abdellatif KHALFA "Commande vectorielle d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil", CIFA 2008 du 3 au 5 septembre 2008 à Bucarest, Roumanie pp 434-441.
- [10] K. Chomsuwan, P. Prisuwan, et al., "Photovoltaic grid-connected inverter using two-switch buck boost converter," in Conf. Rec. 2002 IEEE Photovoltaic Specialists Conf., pp. 1527-1530, May 2002.
- [11] W. Xiao, W.G. Dunford, "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems," in Conf. Rec. 2004 IEEE Annu. Power Electronics Specialists Conf.(PESC'04), vol.3, pp. 1957-1963, Jun. 2004.
- [12] T. Noguchi, S. Togashi, et al., "Short-current pulse based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic- and-converter module system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, pp. 217-223, Feb. 2002.
- [13] C. Hua, C. Shen, "Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage systems," in 1998 Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf. and Expo., (APEC'98), pp. 697-685, 1998.
- [14] EsramT, Chapman PL. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking methods. IEEE Transactions on Energy Conversion June 2007;22(2).
- [15] Benchaib.A, Rachid.A and Audrez.E: "Sliding Mode Input Output Linearisation and Field Orientation For Real Time Control of Induction Motors", IEEE Trans, Power Electronics. Vol 14, no.1, pp3 -13, January 1999.