



## ETUDE DE L'INFLUENCE DE DIFFERENTS AGENTS SUR LES CARACTERISTIQUES D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

F.Z ZERHOUNI

Département d'électronique, faculté génie électrique  
Université des sciences et de la technologie MOHAMED BOUDIAF d'Oran,(U.S.T.M.B.O)  
BP 1505, Oran El M'Naouer, Oran, Algérie.  
Email :zerhouni\_fz@yahoo.fr  
TEL/FAX 42-29-81 ou 42-06-81

### RESUME

L'énergie photovoltaïque est une option prometteuse pour la génération de l'énergie électrique. Dans un proche avenir, elle pourra concurrencer d'autres types d'énergie. Nous consacrons notre étude du générateur photovoltaïque (GPV) à ses différentes caractéristiques. Nous nous intéressons à l'impact des agents extérieurs : ensoleillement, température, vieillissements sur les caractéristiques du GPV.

### SUMMARY

Photovoltaic energy is a promising option for the generation of the electric power. In the future, it will be able to compete with any other kind of energy. We devote this study on the photovoltaic generator, to various characteristics which specify it. We are interested in the impact of external agents such as ensoleillement, temperature, ageings on the characteristics of the GPV.

### MOTS CLES

générateur photovoltaïque, ensoleillement, temperature, vieillissement, puissance..

### 1- INTRODUCTION :

L'énergie solaire est l'une des énergies les plus disponibles. Pour subvenir aux besoins énergétiques, surtout, d'endroits isolés ou difficiles d'accès, le solaire demeure la solution adéquate, simple et fiable.

### 2- CARACTERISTIQUES DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Notre module solaire est poly cristallin.

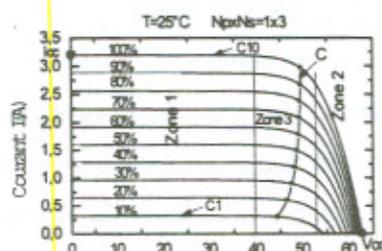


FIGURE 1: Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques I-V.

La caractéristique courant I - tension V (figure (1)) présente trois zones essentielles [1] [2] :

- la zone 1 où le courant reste quasiment constant pour des variations de tension. Dans cette région, le module solaire est assimilable à un générateur de courant.
- la zone 2 se distingue par une variation de courant alors que la tension reste constante. Cette région indique un fonctionnement en générateur de tension du module solaire.
- En revanche, la zone 3, coude de la caractéristique a la spécificité d'être une zone intermédiaire entre un fonctionnement en générateur de courant et un fonctionnement en générateur de tension. Elle se distingue par une variation simultanée, très significative des

## Etude de l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un .....

grandeurs de sortie (I,V). Cette région englobe un point de coordonnées  $I_{opt}$ ,  $V_{opt}$  délivrant la puissance de pointe  $P_{opt}$  appelée aussi puissance optimale (ou maximale).

La figure (2) montre la variation de la puissance de sortie du module photovoltaïque en fonction de la tension. Cette puissance est calculée par:

$$P=VI=-R_s I^2 + A \cdot U_t \cdot I \cdot \ln[(I_{cc}-I+I_0)/I_0] \quad (1)$$

Avec :

$R_s$  :résistance série du GPV,

$A$  : facteur d'idéalité,

$U_t$  : potentiel thermique,

$I_{cc}$  :courant de court circuit,

$I_0$  : courant de saturation,

Quand la tension augmente, la puissance a tendance à croître jusqu'à atteindre du pic  $P_{opt}$  à partir duquel elle décroît. Ce pic  $P_{opt}$  est fourni par la résolution de l'équation [2]:

$$dP/dI = -2 \cdot R_s \cdot I + A \cdot U_t \cdot \ln[(I_{cc}-I+I_0)/I_0] - A \cdot U_t \cdot I / [I_{cc}-I+I_0] = 0 \quad (2)$$

Le courant  $I_{opt}$  est solution de l'équation :

$$I_{cc} = I_{opt} + I_0 \{ \exp[(2 \cdot I_{opt} \cdot R_s / A U_t) + I_{opt} / (I_{cc} - I_{opt} + I_0)] - 1 \} \quad (3)$$

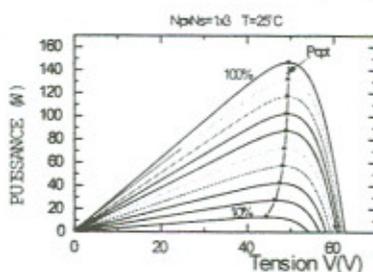


FIGURE 2: Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques P-V.

Le produit  $V_{opt} \cdot I_{opt}$  donne la puissance optimale  $P_{opt}$ . Ce calcul des coordonnées est

exécuté à chaque changement de conditions de fonctionnement.

### 3- INFLUENCE DE L'ENSOLEILLEMENT SUR LES CARACTERISTIQUES DU MODULE SOLAIRE

La fluctuation de la caractéristique  $I=f(V)$  du module photovoltaïque est liée intimement à la disparité d'un certain nombre de facteurs externes, essentiellement l'ensoleillement  $E_s$  et la température  $T$  [2],[3]. Nous allons déterminer l'influence de l'ensoleillement d'une part, puis celle de la température d'autre part sur certaines grandeurs caractéristiques du module photovoltaïque. Parmi ces grandeurs, on déterminera particulièrement le courant optimal  $I_{opt}$ , la tension optimale  $V_{opt}$ , la puissance optimale  $P_{opt}$ , le courant de court circuit  $I_{cc}$ , la tension en circuit ouvert  $V_{oc}$ .

L'intensité réelle du rayonnement solaire reçue par le module photovoltaïque dépend des paramètres suivants: localisation géographique, heure de la journée, saison de l'année, conditions météorologiques, orientation etc [2]. Dans notre cas, les modules photovoltaïques sont orientés à 35°sud.

L'évolution de la caractéristique  $I=f(V)$  en fonction de l'ensoleillement pour une température constante (25°C) est résumée sur la figure (1), et ce pour un module photovoltaïque constitué de 36 cellules solaires en série. L'augmentation de l'ensoleillement a pour conséquences un accroissement des grandeurs de sortie I, V et une amélioration de la puissance recueillie au niveau du générateur ( voir figure (2)).

## Etude de l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un .....

L'élévation de l'ensoleillement augmente la puissance de sortie si on maintient constant le courant de sortie ou la tension de sortie.

La variation de l'ensoleillement se répercute nettement sur le courant de court-circuit. Tout changement d'ensoleillement engendre une variation proportionnelle du courant de court-circuit comme montré en figure(3). En effet, l'étendue de variation du courant  $I_{CC}$  à l'égard de l'ensoleillement est délimitée par la valeur 0.32A à 10% d'ensoleillement et 3.2 A à 100% d'ensoleillement.

La relation liant  $I_{CC}$  à l'ensoleillement peut donc s'écrire:

$$I_{CC} = K'_i \cdot E_s \quad (4)$$

$K'_i$  est une constante. Dans notre cas,  $K'_i = 0.096$  A.m<sup>2</sup>/w.

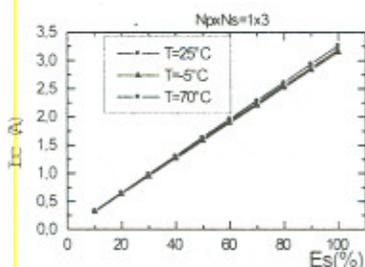


FIGURE 3: variation de  $I_{cc}$  selon  $E_s$  à différentes températures

La tension  $V_{OC}$ , moins sensible à l'ensoleillement que  $I_{CC}$  se trouve de cette façon légèrement affectée. La tension  $V_{OC}$  s'écrit

$$V_{OC} = A \cdot U_t \cdot \ln[1 + (I_{CC}/I_0)] \quad (5)$$

Se référant à la caractéristique I-V en figure (1), les tensions  $V_{OC}$  par exemple à  $E_s = 50\%$  et à  $E_s = 100\%$  sont rapprochées. En effet, les valeurs sont de  $V_{OC} = 60V$  à 50% d'ensoleillement et 62.4V à 100% d'ensoleillement. La figure (4) montre la variation de cette tension en fonction de l'ensoleillement.

La plage d'évolution de  $V_{OC}$  est comprise entre 18V à 10% d'ensoleillement et 20.9V pour  $E_s = 100\%$ .

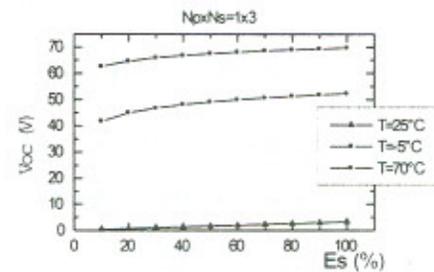


FIGURE 4: Variation de  $V_{oc}$

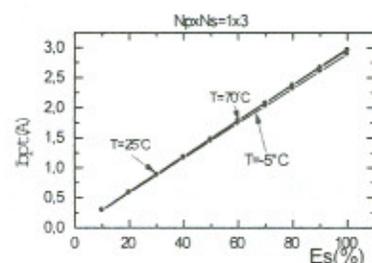


FIGURE 5: variation de  $I_{opt}$  en fonction de  $E_s$

en fonction de  $E_s$  à différentes températures L'ensoleillement a aussi une influence sur le courant optimal et la tension optimale. En ce qui concerne le courant optimal, comme apparent en figure (5), il croit avec l'ensoleillement. En outre, cette croissance significative vis à vis de l'ensoleillement est linéaire comme illustrée par cette figure.

Le courant  $I_{opt}$  prend 0.29 A à 10% d'ensoleillement et 2.96A à  $E_s = 100\%$ . La tension  $V_{opt}$  répond aux radiations lumineuses par une courbe en figure (6). La plage de variation de  $V_{opt}$  d'après l'ensoleillement est minime comme visible en cette figure. Cette plage est comprise entre  $V_{opt}$  à  $E_s = 10\%$  égale à 45V et  $V_{opt}$  à 100% d'ensoleillement égale à 49.5V.

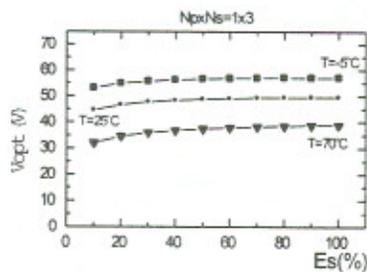


FIGURE 6: variation de Vopt en fonction de Es à différentes températures

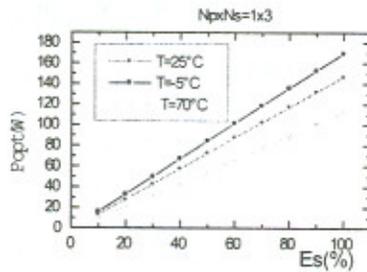


FIGURE 7: variation de Popt en fonction de Es à différentes températures

Toute élévation d'ensoleillement se traduit par une élévation de la puissance optimale (figure 7)). Cette évolution se fait d'une manière linéaire comme constaté en cette même figure. On y observe la puissance de pointe évaluée à  $P_a=12.9W$  à 10% et à  $P_b=146.4W$  à 100% d'ensoleillement.

**4- INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES DU MODULE SOLAIRE :**

Les caractéristiques des modules solaires, comme tout autre composant semi-conducteur dépendent de la température.

Le comportement du module solaire en fonction de la température est plus complexe [2]. On maintient un ensoleillement constant de 100%. Le déplacement de la caractéristique  $I=f(V)$  selon la température est surtout occasionné par la variation de  $V_{oc}$  et  $I_{cc}$  suivant la

température. Le courant de saturation  $I_0$  et le potentiel thermique  $U_t$  sont aussi sensibles à la température [2].

Le domaine de variation du courant  $I_{cc}$  est restreint. De ce fait, l'impact de la température sur  $I_{cc}$  n'est pas prépondérant (figure 3)). On assiste à une augmentation linéaire de  $I_{cc}$  égale à peu près à  $1.6mA/^{\circ}C$ . La croissance de  $I_{cc}$  selon la température pour un module a été approximée selon l'équation :

$$I_{cc}(T) = I_{cc}^{st} \cdot T \cdot C_1 + C_2 \tag{6}$$

où

$$C_1 = 4.9 \cdot 10^{-4}/^{\circ}C,$$

$$C_2 = 3.19A,$$

T est la température en degré Celsius,

$I_{cc}^{st}$  est le courant de court-circuit à une température de 25°C.  $I_{cc}^{st} = 3.19A$ .

En revanche, au fur et à mesure que la température est en hausse, la tension  $V_{oc}$  a tendance à diminuer. Elle répond à une baisse globale approximativement évaluée à  $232.2 mV/^{\circ}C$ . L'examen de la figure (4) dégage la chute de  $V_{oc}$  de la valeur  $73.11V$  à  $T=-20^{\circ}C$  vers  $47.55V$  à  $T=90^{\circ}C$ . Elle satisfait à une décroissance linéaire pour une hausse de température. Nous avons approximé la variation de  $V_{oc}$  suivant la température pour un module solaire par l'équation:

$$V_{oc}(T) = V_{oc}^{st} \cdot (C_1 - T \cdot C_2) \tag{7}$$

avec  $V_{oc}^{st}$ : la tension en circuit ouvert d'un module aux conditions standards,  $V_{oc}^{st} = 62.7V$ .

$C_1$  est une constante,  $C_1 = 1.09$ .

$C_2$  est une constante,  $C_2 = 3.7 \cdot 10^{-3}/^{\circ}C$ .

T est la température en degré Celsius.

## Etude de l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un .....

Le maximum de puissance varie en sens inverse de la température (figure(7)). La puissance optimale présente une sensibilité de  $0.75W/^{\circ}C$ .

Nous avons approximé la variation de  $P_{opt}$  vis à vis de la température par l'équation:

$$P_{opt}(T) = P_m^{st} \cdot (C_1 + C_2 \cdot T + C_3 \cdot T^2) \quad (8)$$

$P_m^{st} = 146.7W$  est la puissance optimale d'un module aux conditions standards.

$C_1$  est une constante,  $C_1 = 1.13$ .

$C_2$  est une constante,  $C_2 = -5.13 \cdot 10^{-3}/^{\circ}C$ .

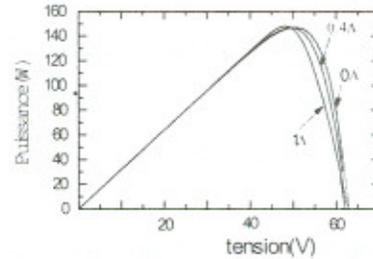
$C_3$  est une constante,  $C_3 = -1.03 \cdot 10^{-6}/^{\circ}2C$ .

Le terme  $C_3 \cdot T^2$  étant faible peut donc être négligé.

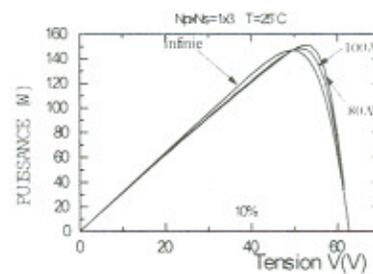
### 5- INFLUENCE DU VIEILLISSEMENT :

D'autres facteurs externes tels que la poussière, le masquage non uniforme (ombres, feuilles mortes...) peuvent affecter la caractéristique  $I=f(V)$  du module solaire entraînant de la sorte la modification des caractéristiques du module solaire. Leur influence peut être assimilée à une baisse d'ensoleillement. Le vieillissement est aussi un facteur qui influe sur la caractéristique du module [2][4]. Le vieillissement se traduit par la variation des résistances  $R_s$  et  $R_{sh}$  du schéma équivalent L'influence de  $R_s$  s'exprime par une variation de la pente  $I=f(V)$  dans la zone où la cellule solaire est assimilable à un générateur de tension. La figure (8-a) regroupe les caractéristiques P-V d'un module solaire à  $E_s=100\%$  et  $T=25^{\circ}C$  tracées pour  $R_s=0\Omega$  (cas idéal) ,pour  $R_s=0.4\Omega$  et pour  $R_s=1\Omega$ . On voit bien que l'effet d'une augmentation de  $R_s$  se résume à la diminution de la pente essentiellement dans la zone où le module

solaire se comporte comme générateur de tension. La puissance se trouve de la sorte affectée comme observé en figure.



a-influence de la résistance série



b- influence de la résistance shunt

FIGURE 8: Impact du vieillissement sur la caractéristique puissance-tension du GPV

Par contre, l'impact de  $R_{sh}$  se manifeste surtout au sein de la région où la cellule solaire se comporte comme un générateur de courant par une modification de la pente. Ceci est visible en figure (8-b) où on a pris  $R_{sh}$  égale à l'infini (cas idéal) ,  $R_{sh}=80\Omega$  et  $R_{sh}=100\Omega$ . La puissance est affectée comme observé en cette figure.

### 6- CONCLUSION :

Cette partie de ce travail a été un aperçu consacré au générateur photovoltaïque. La variation importante des agents externes tels que la température, l'ensoleillement ou intrinsèque : vieillissement nous a permis de préciser la dépendance des différentes grandeurs du GPV suivant ces agents afin de mieux

## Etude de l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un .....

maîtriser par la suite le comportement du GPV dans une installation photovoltaïque.

### REFERENCES :

[1] APPLEBAUM J., "The quality of load matching in a direct coupling PV system", *IEEE transactions on energy conversion*, Vol 2, N°4, pp: 534-541.

[2] ZERHOUNI F.Z., "Adaptation optimale d'une charge à un générateur photovoltaïque", *Mémoire de Magister*, 1996, Institut d'électronique, USTMBO.

[4] GUEN A., «Contribution à l'étude des systèmes de télécommunications mobiles alimentés par énergie solaire», *thèse de magister*, université de TLEMCEN, 1991.

[3] ELIAS F.M Kheswa and al, "model of a photovoltaic fuel cell generator», *IEEE AFRICON*, 2004, pp 735-740.