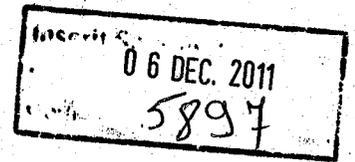


République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université ABOU BAKR BELKAID

TLEMCCEN



THESE

de

MAGISTER

En Physique Energétique et Matériaux

Présentée par : Mme MESLI Soraya Née SENOUCI BRIKSI

Sur le Thème :

Optimisation du rendement d'un système
de pompage hydraulique alimenté par un
générateur photovoltaïque

Soutenue le 13 Avril 1999, devant le Jury

Mr N. CHAÂBANE SARI, Maître de Conf. A l'Université de Tlemcen..... **Président**
Mr B. BENYOUCEF, Professeur à l'Université de Tlemcen **Directeur de thèse**
Mr S. KHALDI, Maître de Conf. A l'Université de Tlemcen **Examineur**
Mr F. BENYAROU, Chargé de Cours à l'Université de Tlemcen **Examineur**

A la Mémoire de Mon Oncle

Hadj Senouci Briksi Sid Ahmed

Dedicaces

Avec toute mon affection,

Ma profonde reconnaissance,

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents, en témoignage de l'amour, du respect que je leur porte, de leur soutien, de leur compréhension et toutes les sacrifices qu'ils ont enduré tout au long de ma formation.

A mon mari Hamed qui m'a aidée dans la réalisation de cette thèse et à son soutien moral.

A ma très chère petite fille Ahlem.

A mes grands-parents et beaux-parents.

A mes soeurs Nawel et Nassima.

A mon cher frère Amine.

A toute ma famille et mes amis(es) qui me sont très chers(es).

M^{me} MESLI Sofiana



REMERCIEMENTS



Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé dans le cadre du laboratoire de Physique Energétique et Matériaux, l'Institut de physique à l'université Abou-Bakr Belkaïd de Tlemcen sous la direction du Professeur B.Benyoucef.

Je suis très honorée d'adresser mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse ; j'ai tiré un immense profit de son savoir et de ses conseils prodigieux.

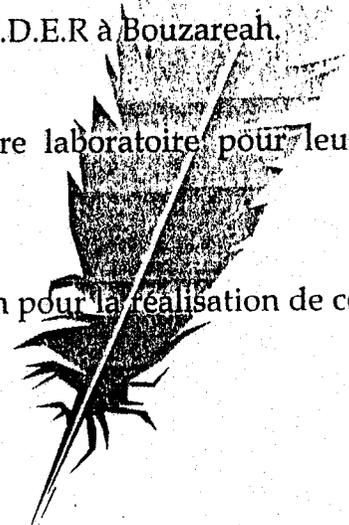
Je remercie également Monsieur M. Belhamel, Directeur du Centre des Energies Renouvelables de Bouzareah, qui a accepté la présidence de l'éminent jury de cette thèse.

A Messieurs N. Chaâbane Sari, Maître de Conférence à l'institut d'Electronique , S.Khalidi , Maître de Conférence à l'institut de Physique et à Monsieur F. Benyarou Chargé de Cours ; j'adresse l'expression de mon grand respect et ma profonde gratitude, les remerciant pour avoir accepté d'être examinateurs du jury de ma présente thèse.

J'exprime ma sincère reconnaissance envers Monsieur A.Hamidat qui m'a accueilli dans son laboratoire du photovoltaïque au C.D.E.R à Bouzareah.

Je remercie également les membres de notre laboratoire pour leur contribution à créer une ambiance d'équipe.

Enfin, je tiens à remercier Monsieur R. Bemrah pour la réalisation de ce travail et la patience qu'il a toujours manifesté.



SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PROBLEMATIQUE	3
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE AU FIL DU SOLEIL	5
INTRODUCTION	6
I.1. LE GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	7
<i>I.1.1. Définition</i>	7
<i>I.1.2. Analyse de fonctionnement des modules photovoltaïques</i>	7
I.2. ÉLÉMENTS DE POMPAGE	16
<i>I.2.1. Définition</i>	16
<i>I.2.2. Convertisseur courants continu / alternatif</i>	16
<i>I.2.3. Groupe motopompes</i>	17
CONCLUSION	18
CHAPITRE 2 : LES PARAMÈTRES NÉCESSAIRES POUR LA SIMULATION D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE	19
INTRODUCTION	20
II.1. LE RAYONNEMENT SOLAIRE	20
<i>a) le rayonnement solaire hors atmosphère</i>	20
<i>b) Influence de l'atmosphère</i>	23
<i>c) Composante au sol du rayonnement solaire</i>	23
II.2. LA TEMPÉRATURE AMBIANTE	24

CHAPITRE 3 : MODÉLISATION D'UN SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE	25
INTRODUCTION	26
III.1. MODÉLISATION DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE.....	26
III.2. POINT OPTIMAL DE FONCTIONNEMENT.....	28
III.3. MODÈLE DE LA TEMPÉRATURE DE JONCTION	31
III.4. MODÉLISATION DES ÉLÉMENTS DE POMPAGE.....	31
III.5. LE MODÈLE DES ÉLÉMENTS DE POMPAGE.....	33
III.6. MODÉLISATION DE L'INSTALLATION COMPLÈTE	34
CONCLUSION	35
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION ET APPLICATION DU LOGICIEL PVPUMP SUR SITES ALGÉRIENS	36
I. DESCRIPTION DU LOGICIEL.....	37
<i>I.1. Introduction.....</i>	<i>37</i>
<i>I.2. Fichiers des données et des résultats</i>	<i>37</i>
II. CARACTÉRISATION ET ÉTUDE DES PERFORMANCES D'UN SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE AU FIL DE SOLEIL	39
<i>II.1. Introduction.....</i>	<i>39</i>
<i>II.2. Calcul et simulation</i>	<i>40</i>
<i>II.3. Présentation des résultats</i>	<i>42</i>
III. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	43
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	56
ANNEXES	58

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La croissance de la demande énergétique dans le monde a largement stimulé la recherche de nouvelles sources d'énergie, et ainsi l'énergie solaire est une des sources non conventionnelles les plus prometteuses. Cette énergie s'adapte parfaitement à la décentralisation de la production d'énergie pour des petites communautés très dispersées comme le prouvent déjà les pompes solaires dont le fonctionnement s'est révélé irréprochable.

La fourniture d'eau pour les besoins domestiques et d'irrigation reste le souci quotidien des populations des régions isolées. L'utilisation de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire pour pomper l'eau et particulièrement bien adaptée pour ces zones, mais qui n'est plus économique lorsque la demande augmente, le photovoltaïque, en effet, contrairement à l'électricité diesel ou réseau, ne bénéficie pratiquement pas d'économie d'échelle : le premier Kwh coûte aussi cher que le 100ème. [20]

Les systèmes de pompage photovoltaïque au fil du soleil c'est à dire sans stockage d'énergie sont actuellement les plus sollicités pour l'hydraulique villageoise, pastorale et la petite irrigation. La raison pour la quelle, on choisit le photovoltaïque comme source d'énergie est la notion d'autonomie : autonomie du lieu, mais tout aussi importante est la notion d'autonomie de fonctionnement.

Peu de difficultés ont été rencontrées dans le cas des systèmes photovoltaïque de quelques watts, il n'en a pas été de même pour les systèmes de plus fortes puissances ou le problème parmi d'autres, du stockage de l'énergie électrique.

De ce fait, plusieurs configurations de système photovoltaïque ont été envisagées, l'une des plus simples consiste en un couplage direct générateur-charge, sans stockage d'énergie électrique et le problème à résoudre dans ce cas est de concevoir l'ensemble du système de façon à extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque quelles que soient les perturbations d'éclairement et de température.

Afin d'étudier et analyser un système de pompage hydraulique alimenté par un générateur photovoltaïque, nous avons utilisé le logiciel PVPUMP qui a été développé au Centre de Développement des Énergies Renouvelables (C.D.E.R). Il nous a permis la simulation et la caractérisation de ces systèmes au fil du soleil, alors nous avons adopté le plan suivant sous la direction du Professeur B.Benyoucef.

Après une brève introduction et la problématique, nous avons présenté et analysé le fonctionnement des éléments du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil.

Le second chapitre est consacré à déterminer les paramètres nécessaires pour la simulation de ces systèmes, à savoir, le rayonnement solaire et la température ambiante.

Le troisième chapitre présente la modélisation du générateur photovoltaïque et les éléments de pompage, ainsi que le modèle complet.

Enfin, Le quatrième chapitre constitue le pôle essentiel de notre étude, où nous avons appliqué le Logiciel PVPUMP pour le site de Tlemcen et la difficulté majeure que nous avons rencontrée est l'indisponibilité des données météorologiques.

PROBLEMATIQUE

Notre but est de concevoir un système de pompage hydraulique qui doit être adapté aux caractéristiques du puits et aux conditions climatiques du site (ensoleillement, humidité, chaleur, corrosion, vent de sable, etc.....). Par ailleurs, l'installation devra répondre aux exigences suivantes :

- Assurer le rendement maximum des divers organes en fonctionnement : le coût élevé du watt crête photovoltaïque impose à l'utilisateur de faire délivrer à ce générateur sa puissance optimale ou encore faut-il optimiser le fonctionnement de l'ensemble générateur-récepteur afin que le rendement global (rapport de la puissance utilisable à l'éclairement reçu par les cellules solaires) soit maximal.
 - Une excellente fiabilité ie réduire les opérations de maintenance de façon à exploiter le système une ou plusieurs années sans interventions.
 - Présenter une simplicité de mis en œuvre à l'installation ainsi qu'une longévité importante.
 - Une autonomie de fonctionnement.
 - Un dimensionnement adéquat : une installation photovoltaïque doit satisfaire les besoins d'utilisation, avec un cout le plus faible possible.
 - Deux problèmes se posent dans le dimensionnement d'une installation :
- ❖ La demande de l'utilisation qui varie dans le temps, par conséquent elle est surestimée.
 - ❖ Les données météorologiques d'éclairement restent limitées, et fluctuent sur l'année, on utilise les moyennes mensuelles.

Le calcul des dimensions se fait pour les mois les moins ensoleillés afin d'avoir un équilibre entre le coût du système et la satisfaction de la demande d'utilisation qui sont en fonction des données de sites et des caractéristiques du système. [2]

Ainsi, l'examen des conditions précitées peut conduire :

- Soit à envisager un dispositif très simple qui consiste en une liaison directe du générateur solaire au groupe électro-pompe sans stockage d'énergie et l'étude de l'optimisation sera faite et l'avantage, c'est qu'il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs fragiles, lourds et coûteux.
- Soit à composer un système à plusieurs éléments devant être adaptés l'un à l'autre dans leur totalité (unités de contrôle, de régulation où de conversion) et l'étude de l'optimisation sera réalisée à chaque instant de fonctionnement c'est à dire en fonction de paramètres instantanés. [26]

Donc, la conception d'un système de pompage à partir de plusieurs sous-systèmes nécessite la connaissance de chaque sous-système afin de faciliter l'analyse et le choix de la méthode d'optimisation.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DU SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE AU FIL DU SOLEIL

INTRODUCTION

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie aux groupes moteur-pompe, et la tendance actuelle dans le monde est l'utilisation de celle-ci au fil du soleil car elle offre une très grande simplicité d'exploitation et de fiabilité par rapport à celle où on utilise des batteries d'accumulateurs surtout pour des gammes de puissances qui dépassent les 500Watts crêtes.

Dans l'étude suivante, nous présentons les différents composants du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil afin de faciliter l'accès à la présentation et l'étude de tout le système.

Le système de pompage photovoltaïque étudié se compose d'un générateur photovoltaïque et des éléments de pompage qui sont un convertisseur triphasé dc/ac et une électropompe.

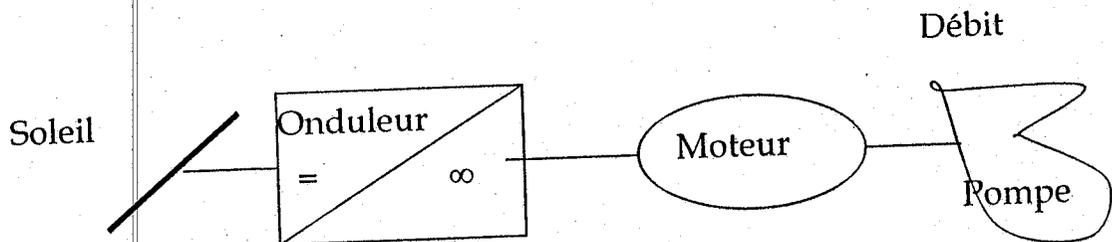


Figure 1.1: Système de pompage PV au fil du soleil

I.1. le générateur photovoltaïque

I.1.1. Définition

Il est responsable de la conversion d'énergie solaire incidente en énergie électrique par effet photovoltaïque.

Le générateur est constitué de plusieurs modules assemblés en série et en parallèle selon la puissance requise et chaque module est lui-même constitué de cellules solaires généralement montées en série.

I.1.2. Analyse de fonctionnement des modules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque qui est l'élément de base des modules photovoltaïques transforme l'énergie lumineuse des photons qu'elle absorbe en énergie électronique. Elle est considérée comme étant un générateur de puissance électronique qui est ni un générateur de courant ni un générateur de tension. Sa puissance est déterminée par le point de fonctionnement qui est lui-même fixé par la charge à laquelle est connectée.

I.1.2.1. L'effet photovoltaïque

Il permet la conversion de l'énergie lumineuse incidente en énergie électrique. Cet effet est obtenu avec des matériaux dits « Semi-conducteurs » exemple le Silicium Si, qui ont des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

les particules constituent de la lumière, les photons, qui ont une énergie supérieure à l'énergie de gap E_g créent des paires de charges électron-trou. E_g est l'énergie nécessaire pour faire passer un électron d'un état lié à un l'état libre. [22]

Dans le cas du silicium Si ($E_g = 1.13 \text{ eV}$), toute la partie du rayonnement solaire dont la longueur d'onde est supérieure à $1.1 \mu\text{m}$ n'est pas utilisé (fig. 1.2).

Pour les photons ayant une énergie supérieure à E_g , seuls les photons dont l'énergie est inférieure à une limite haute (pour le silicium 3.1 eV) créent des porteurs utilisables. Les photons de grande énergie pénètrent moins le matériau, et créent des recombinaisons non exploitées au niveau de la surface de la cellule.

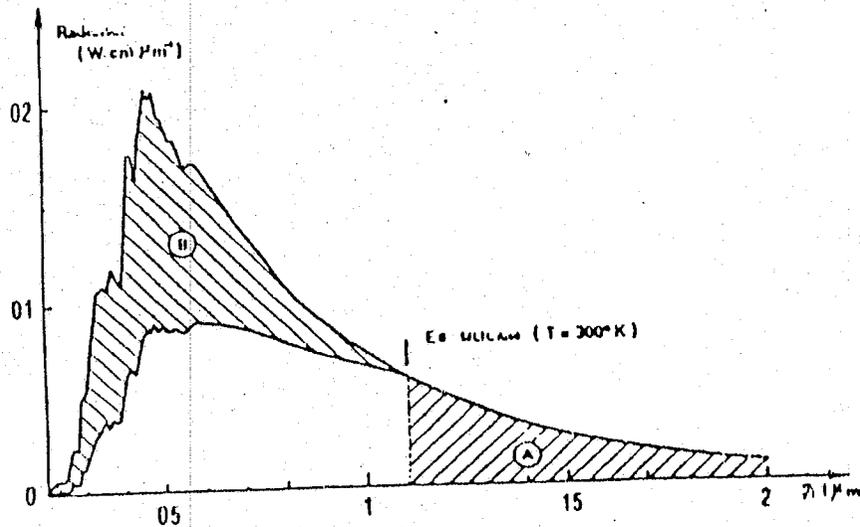


Figure 1.2 : Exploitation du spectre AMO par une cellule solaire

Le rendement de conversion d'une cellule solaire idéale peut être donné par la relation :

$$\eta_{\text{cel}} = \frac{P_M}{M}$$

où :

$$P_M = I \cdot \frac{E_g}{q}$$

avec : P_M : puissance maximale fournie,
 M : énergie incidente,
 I : courant idéal,
 E_g : énergie de gap,
 q : charge de l'électron.

Le rendement de conversion de la cellule réelle dépend de plusieurs facteurs de pertes tels que :

- Absorption incomplète des photons et excès d'énergie des photons absorbés (fig. 1.2).
- Réflexion à la surface, qui peut être réduite par traitement antireflet de la surface exposée au rayonnement.
- Rendement de collecte, qui dépend des caractéristiques du matériau (parité, propriétés électriques, etc...).
- Les facteurs de tension et de courbe (ou de forme FF), qui sont dû à l'approximation faite par le calcul du rendement de conversion idéal.

En effet, pour une cellule idéal la caractéristique I-V est rectangulaire contrairement à la caractéristique de la cellule réelle (fig. 1.3), la définition des deux facteurs est la suivante :

$$\text{Facteur de tension} = \frac{V_{oc}}{E_g \cdot q}$$

$$\text{Facteur de courbe, FF} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{cc}}$$

avec : V_{oc} : tension de circuit ouvert.

I_{cc} : courant de court-circuit.

V_m : tension optimale.

I_m : courant optimum.

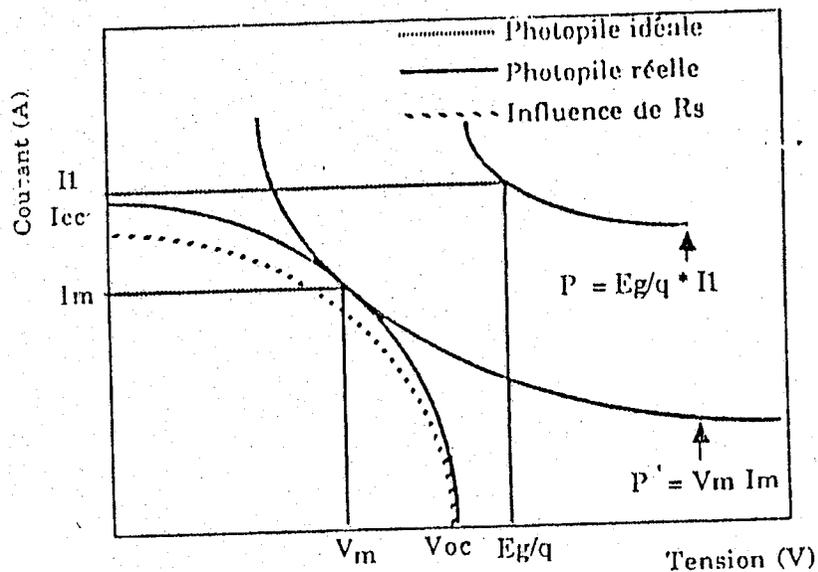


Figure 1.3 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque

1.1.2.2. Caractérisation I-V de la cellule photovoltaïque

La caractérisation I-V de la cellule est la représentation du courant électrique I produit par la cellule en fonction de la tension établie pour des conditions d'éclairement et de température données (fig. 1.3).

La cellule photovoltaïque possède la structure d'une diode. Lorsqu'elle est en circuit ouvert et éclairée, le photocourant I_{ph} de la cellule est équilibré par le courant direct de diode I_d . lorsqu'une charge est connectée aux bornes de la cellule, le photocourant se partage entre la diode et la charge :

$$I_{ph} = I_d + I$$

avec : I_{ph} : le photocourant,
 I_d : courant de diode,
 I : courant de charge,

d'où le courant I effectivement produit par la cellule photovoltaïque peut être écrit par : [12]

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{q}{AKT_j} \cdot (V + R_s I)\right) - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (1)$$

A est le facteur d'idéalité de la diode, il représente la qualité du matériau et de la jonction, $1 < A < 2$

En fait, deux paramètres sont responsables de la dissipation d'une partie de la puissance produite par la cellule réelle : [5]

Ce sont des résistances parasites qui sont appelées résistance série R_s et résistance shunt R_{sh} .

En pratique, la résistance shunt est très grande. on néglige le terme $(V + R_s I) / R_{sh}$ dans la relation (1)

La figure 1.4 représente le schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque.

La relation (1) pour un module qui comporte n cellules connectées en série et identiques est :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{q}{n AKT} \cdot (V + R_s I)\right) - 1 \right) \quad (2)$$

Pour un module $I_{ph} \approx I_{cc}$ $R_s \ll 1$

A : facteur d'idéalité

n : nombre de cellules série

q : charge de l'électron

Le courant de saturation I_0 varie en fonction de la température de jonction T_j soit :

$$I_0 = k_1 \cdot A \cdot n_i^2 \cdot (T_j)$$

avec
$$n_i^2(T_j) = A_0 T_j^3 \exp\left(\frac{E_g}{K \cdot T_j}\right)$$

donc
$$I_0(T_j) = A_2 T_j^3 \exp\left(\frac{E_g}{K \cdot T_j}\right)$$

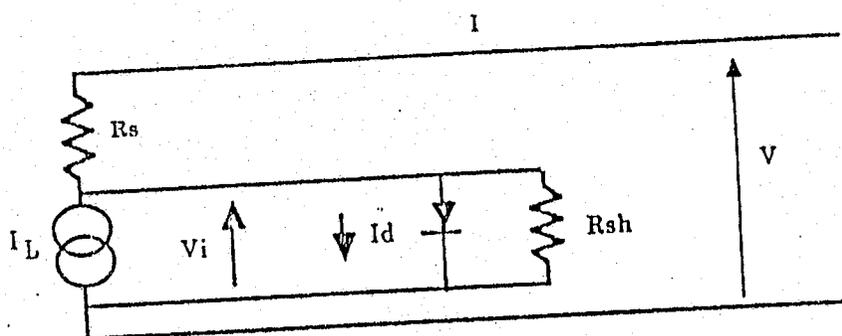


Figure 1.4 : Schéma électrique équivalent de la cellule.

Ex : Pour le Silicium monocristallin le courant I_0 est donné par :

$$I_0 = 2,110 \cdot 10^3 T_j^3 \exp\left(-\frac{1,4 \cdot 10^4}{T_j}\right)$$

Le courant de court-circuit varie avec deux facteurs : le rayonnement solaire et la température :

$$I_{cc} = f(T, \phi)$$

La différentielle de cette équation est comme suit :

$$\Delta I_{cc} = \left(\frac{\partial I_{cc}}{\partial \phi}\right)_T \Delta \phi + \left(\frac{\partial I_{cc}}{\partial T}\right) \Delta T + \dots$$

On néglige les termes d'ordre supérieur à un.

Les résultats expérimentaux ont vérifié la variation linéaire, déjà établie par théorie, de I_{cc} par rapport à la température et à l'éclairement.

Donc, nous pouvons écrire :

$$I_{cc} = B_0 + B_1 \phi + B_2 T$$

Où B_0 , B_1 et B_2 sont déterminés expérimentalement ou donnés par le constructeur.

$$I_{cc} = K_2 \cdot E \left[1 - P_1 (E - E_{ref}) - P_2 (T_j - T_{ref}) \right]$$

K_2 : Constante de proportionnalité à l'éclairement.

$E_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$

$T_{ref} = 298^\circ \text{K}$

P_1 et P_2 : coefficients de non linéarité.

- I_{ph} , représente le photocourant produit par le module.
- I_0 , représente le courant de saturation : il provient des porteurs engendrés thermiquement à l'obscurité ; il est donc très sensible au paramètre température.
- R_s est la résistance série, due principalement à la résistance des contacts des grilles collectrices à la surface des cellules du module et à la circulation des porteurs dans le matériau.
- R_{sh} , est la résistance de shunt, sa valeur est très grande, elle représente la mauvaise conductance au niveau de la jonction ou un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière.

L'équation caractéristique du module photovoltaïque est sensible à la variation d'un certain nombre de paramètres, en particulier les résistances série et shunt ainsi que le flux lumineux et la température.

Variation de la R_{sh}

La figure 1.5, de la page suivante, illustre l'influence de variation de R_{sh} sur le facteur de forme et la caractéristique I-V.

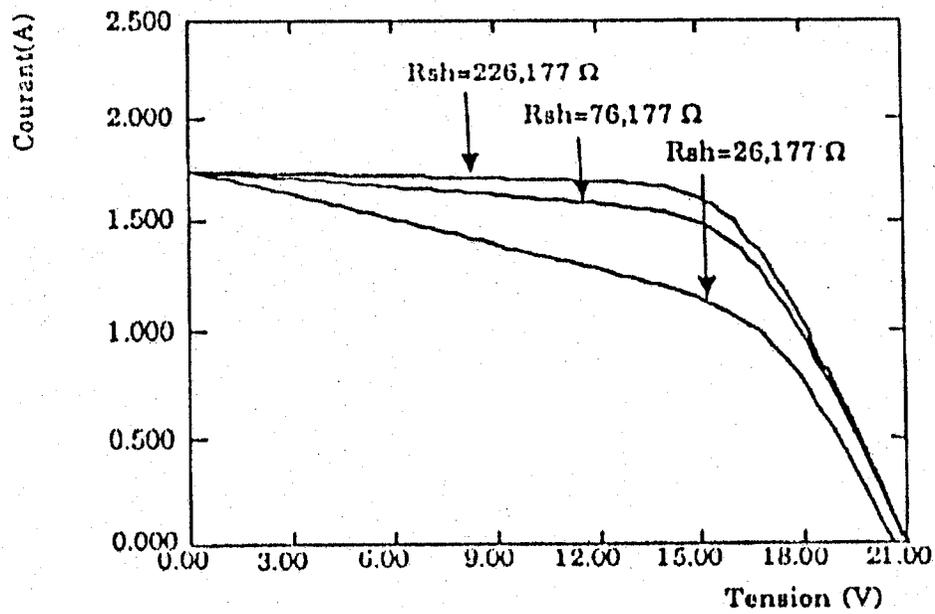


Figure 1.5 : Influence de la résistance shunt

Variation de la R_s

La résistance série modifie la forme de la caractéristique I-V du module (fig. 1.6) et par conséquent le facteur de forme FF.

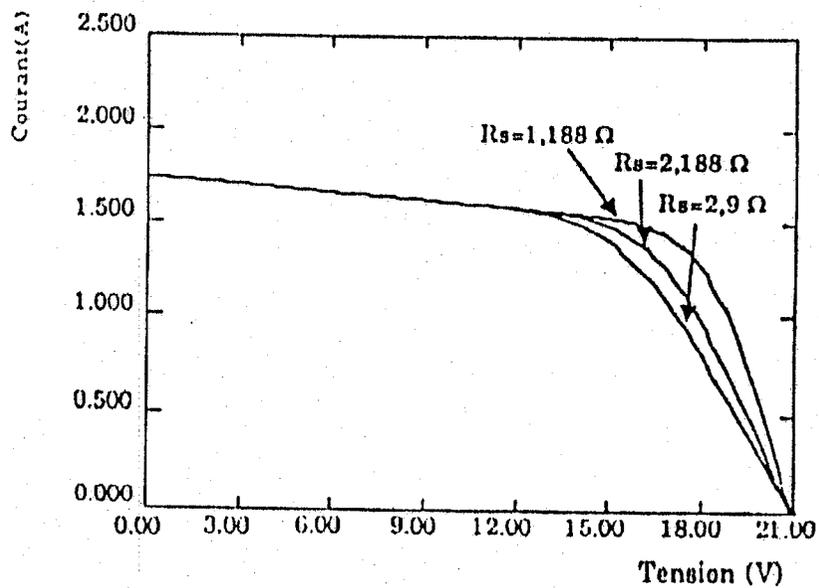


Figure 1.6 : Influence de la résistance série

Variation du flux lumineux

Le photocourant crée dans le module est proportionnel au flux solaire incident, cette proportionnalité est très visible sur la fig. 1.7 qui représente la caractéristique I-V du module, pour une température de jonction fixe, en fonction de l'éclairement. On remarque que le courant de court-circuit varie beaucoup, tandis que la variation de la tension de circuit ouvert est légère.

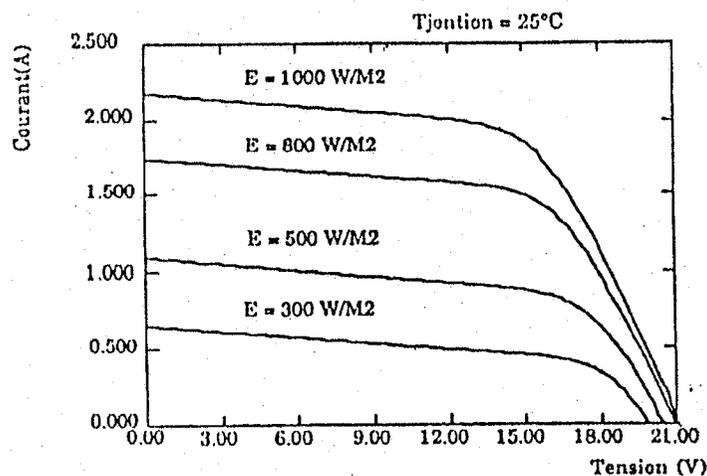


Figure 1.7 : Influence de l'intensité du flux lumineux.

Variation de la température de jonction

L'augmentation de la T_j provoque une faible augmentation du photocourant due principalement à la réduction de la bande interdite du matériau. Tandis que, le courant d'obscurité augmente fortement, ce qui contribue à baisser la tension de circuit ouvert (Fig. 1.8) la baisse de la puissance fournie est estimée environ à 0,5% par degré pour un module.

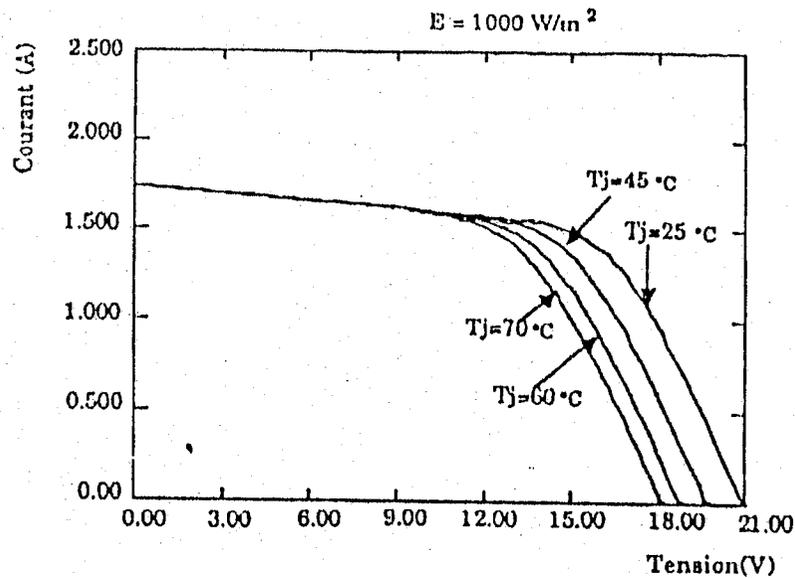


Figure 1.8 : Influence de la température de jonction

I.2. Eléments de pompage

I.2.1. Définition

On définit les éléments de pompage pour les deux cas d'utilisation de l'énergie électrique (continu ou alternatif) l'ensemble des composants suivant :

- pour le système à courant continu : le moteur et la pompe.
- pour les systèmes à courant alternatif : l'onduleur, le moteur et la pompe.

I.2.2. Convertisseur courants continu / alternatif

Le convertisseur (appelé aussi onduleur) est un élément indispensable pour tout système photovoltaïque devant fournir de l'énergie électrique en courant alternatif.

L'idéal consiste à disposer, au moindre coût, d'un convertisseur qui a un rendement le plus élevé possible, quelle que soit la puissance délivrée.

Il existe deux types d'onduleur qui se différencient par leur fréquence de sortie fixe ou variable.

Onduleur à fréquence fixe

L'utilisation de cet onduleur dans les systèmes de pompage nécessite l'interpolation des batteries d'accumulateurs entre le générateur photovoltaïque et le convertisseur. Ainsi, la tension d'entrée de l'onduleur qui représente aussi la tension de fonctionnement du système peut être fixée par les batteries.

Onduleur à fréquence variable

Il est adapté aux systèmes de pompage photovoltaïque au fil du soleil ; il délivre des signaux d'amplitude crête constante, mais de fréquence variable proportionnelle à la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque. La tension crête des impulsions est fixée par le circuit de contrôle de l'onduleur.

1.2.3. Groupe motopompes

Leurs dispositions peuvent être de différentes manières selon leur usage :

- pompe de forage ou de puits profonds.
- pompes de surface pour l'irrigation à partir des nappes libres situées à faible profondeur (< 8m).

La solution préférée, parmi les cas cités en haut, est celle qui dispose d'une hydraulique immergée afin d'éviter les problèmes de désamorçage, est d'un moteur immergé au lieu de ceux à arbre long ou émergé qui présentent des pertes mécaniques importantes. [9]

Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu déterminer la caractéristique I-V des modules photovoltaïques, ainsi que ses dépendances vis à vis des paramètres internes et externes telles que la température de jonction, le flux lumineux, les résistances séries et shunt, etc...

La présentation des éléments de pompage est basée surtout sur les résultats expérimentaux qui relient directement le débit d'eau à la puissance électrique prise à l'entrée de l'onduleur (voir chapitre 3).

CHAPITRE 2

LES PARAMETRES NECESSAIRES POUR LA SIMULATION D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction

un appareil utilisant l'énergie solaire est un système dont les entrées sont des fonctions aléatoires du temps.

La conception, le dimensionnement et la gestion optimal des systèmes énergétiques solaires (en particulier le système photovoltaïque) passent impérativement par la connaissance des conditions météorologiques aux quelles sont soumis ces systèmes. Les fluctuations aléatoires des caractéristiques climatiques du lieu, contraignent le système à fonctionner en régime variable et influe beaucoup sur le dimensionnement optimal du système, donc elles interviennent dans l'optimisation du dimensionnement (donc sur le coût) et sur la gestion du système. [12]

Donc, les grandeurs nécessaires pour la simulation d'un système photovoltaïque sont :

- le rayonnement solaire.
- la température.

II.1. Le rayonnement solaire

On distingue :

- le rayonnement solaire hors-atmosphère.
- influence de l'atmosphère.

a) le rayonnement solaire hors atmosphère

Du point de vue énergétique, l'essentiel du rayonnement solaire hors atmosphère se situe dans l'intervalle spectrale 0.25 - 4. μm .

Sur la figure (2.1), nous pouvons remarquer la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère, assez proche de la répartition spectrale de l'émission du corps-noir à la température $T = 5800^\circ\text{K}$.

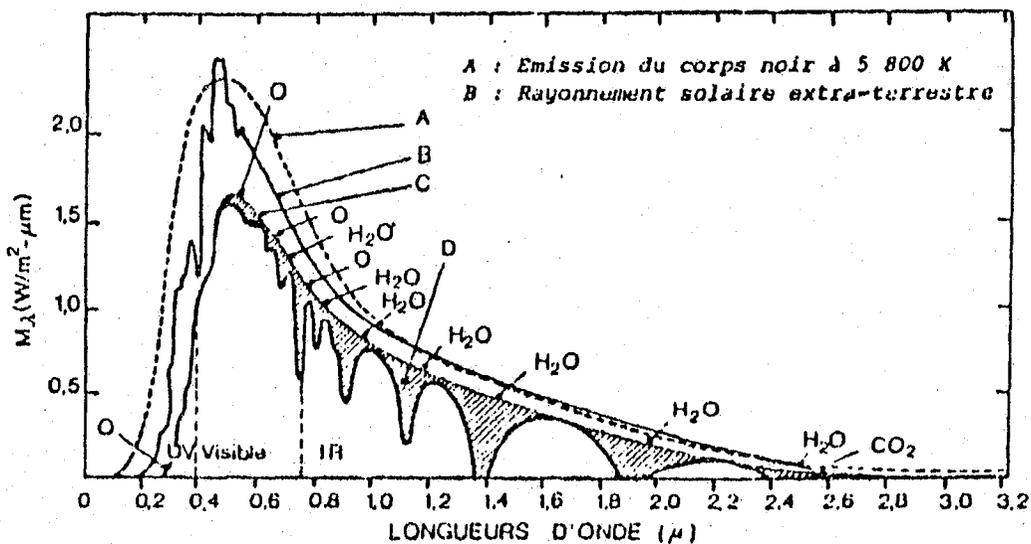


Figure 2.1 : Spectre de rayonnement solaire au sol

La répartition d'énergie en fonction de la longueur d'onde est :

- le domaine de l'ultra-violet, $0,29 < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$, représente environ 9% de l'énergie totale émise par le soleil.
- le domaine du visible, $0,4 < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$, représente 40 % de l'énergie totale.

Rappelons quelques définitions et équations donnant la position du soleil et du temps :

déclinaison solaire

C'est l'angle qui fait l'axe soleil terre avec le plan équatorial terrestre. Elle varie au cours de l'année de $23^\circ 27'$ à $-23^\circ 27'$, en passant par 0° aux équinoxes.

La déclinaison est donnée d'après la relation de PERREN DE BRICHAMBAUT

$$\sin \delta(J) = 0,398 - \sin\left(\frac{360}{365}(J-82) + 2 \sin\frac{360}{365}(J-2)\right)$$

$$\text{Où : } \delta = 23,45 - \sin\left(\frac{360}{365}(2840 + J)\right)$$

Angle horaire ω

C'est l'angle entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu.

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12)$$

Hauteur du soleil h

C'est la hauteur angulaire du soleil au dessus de l'horizon :

$$\sin h = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega$$

Avec, Φ : latitude du lieu.

δ : déclinaison du soleil

ω : angle horaire

Azimut du soleil

C'est l'angle entre la projection du rayon solaire sur le plan horizontal et la direction sud :

$$\sin \Psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h}$$

Temps solaire vraie (T.S.V)

Il est défini par :

$$\text{TSV} = 12 - \frac{\omega}{15}$$

Durée astronomique du jour D

Au lever et au coucher du soleil, $h = 0$:

donc:

$$\omega = \arcsin (-\tan \Phi \tan \delta)$$

d'où, la durée potentielle d'insolation peut être exprimée par :

$$D = \text{TSV}_{\text{coucher}} - \text{TSV}_{\text{lever}}$$

b) Influence de l'atmosphère

La distribution spectrale, la distribution spatiale et l'intensité du rayonnement direct sont modifiés par l'atmosphère. Le spectre du rayonnement en arrivant au sol est largement modifié par rapport au spectre initial à la limite de l'atmosphère (fig. 2.1).

Ces modifications apportées au rayonnement dépendent de plusieurs facteurs variables avec le lieu et le temps (composition de l'atmosphère, épaisseur traversée, ...).

c) Composante au sol du rayonnement solaire

Rayonnement direct D

C'est l'éclairement énergétique en provenance du seul disque solaire. Il est en général mesuré sur une surface normale à l'axe soleil - terre.

Rayonnement diffus DIF

C'est la partie du rayonnement solaire qui est diffusée par les molécules ou particules atmosphériques. Il provient de l'ensemble de la voûte céleste et n'a pas d'orientation privilégiée.

Rayonnement réfléchi REF

C'est le rayonnement émis par la surface terrestre sous forme diffuse, il varie proportionnellement au rayonnement global G et a un coefficient propre à l'environnement du lieu : l'albédo du sol ρ peut prendre des valeurs entre 0 et 1.

Rayonnement global G

C'est l'éclairement énergétique d'une surface par l'ensemble des éclaircissements direct, diffus et réfléchi. Pour une surface horizontale :

$$G_{\text{horiz}} = D_{\text{horiz}} + DIF$$

Pour les surfaces inclinées, il faut tenir compte de l'angle d'inclinaison et la valeur de l'albédo du sol :

$$G_{\text{incl}} = D_{\text{incl}} + DIF_{\text{incl}} + REF$$

II.2. La température ambiante

Ces températures sont nécessaires pour déterminer le fonctionnement des modules photovoltaïques.

La température est une mesure très largement pratiquée pour un grand nombre de sites dans chaque pays et les moyennes mensuelles sont en général accessibles, de même que les maxima et les minima journaliers ou leur moyenne sur le mois.

L'étude et la simulation du système de pompage photovoltaïque envisagé nécessite la connaissance de la température à pas de temps horaire. Ces températures horaires sont déterminées à partir des minima et des maxima journaliers.

CHAPITRE 3

MODELISATION D'UN SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction

Notre système se compose essentiellement d'un générateur photovoltaïque, d'un onduleur à fréquence variable et d'un groupe moteur-pompe. Une modélisation des parties de l'installation est nécessaire pour établir une relation directe entre l'énergie produite par l'installation et la demande de l'utilisation c'est à dire entre le débit et la puissance électrique consommée.

Cette modélisation permet de prévoir les caractéristiques de chaque partie, en connaissant les données météorologiques. Ainsi, on peut classer les différents éléments de pompage dans des banques de données pour faciliter la simulation de ces systèmes.

III.1. Modélisation du générateur photovoltaïque

Le modèle utilisé pour simuler les performances de fonctionnement du générateur photovoltaïque est déduit de l'étude théorique présentée au chapitre 1.

A partir de la caractéristique d'un module, nous déterminons la caractéristique $I' = f(V)$ d'un générateur composé de N_s modules en série et N_p modules en parallèle. [30]

$$\frac{I'}{N_p} = I_{cc} - I_o \left[\exp \left(C \left(\frac{V'}{N_s} + \frac{R'_s \cdot I'}{N_p} \right) \right) - 1 \right]$$

Avec $C = q / n A K T_j$ et $R_s = N_s \cdot R'_s$

$$\text{Donc } I' = N_p \cdot I_{cc} - N_p \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{C}{N_p N_s} - (N_p \cdot V + N_s \cdot R'_s \cdot I') \right) - 1 \right] \quad (1)$$

Cette relation est vraie en considérant les cellules identiques (ayant la même caractéristique $I = f(V)$).

La tension du circuit ouvert est donnée pour un courant de sortie nul. (pas de charge à la sortie) :

$$U_{Co} = \frac{1}{N_p C_1} \left(\frac{\text{Log}(I_{cc} + I_0)}{I_0} \right)$$

$$C_1 = \frac{q}{n \cdot N_p \cdot N_s \cdot AKT}$$

Le courant de court-circuit est déterminé pour une tension nulle à la sortie.

$$I_{ph} = I_0 \exp(C_1 \cdot N_s \cdot R_s \cdot I_{cc}) + \frac{I_{cc}}{N_p} - I_0$$

Cette équation est non linéaire pour I_{cc} en utilisant une méthode numérique.

Soit :

$$N_p I_0 \exp (C_1 N_s R_s I_{cc}) + I_{cc} = N_p (I_{ph} + I_0)$$

En pratique, nous considérons I_{ph} égal au courant de court-circuit pour un module.

III.2. Point optimal de fonctionnement

La puissance délivrée par le générateur est :

$$P = V' I' \quad (2)$$

Cette puissance varie suivant la charge connecté au générateur, elle passe par un point maximal pour une seule valeur de la résistance de charge ; à ce point le générateur est à son point de fonctionnement optimal, sa puissance et son rendement sont maximum.

La dérivée de l'équation (2) nous donne :

$$dP = I' dV' + V' dI'$$

Au point maximum $dP=0$, donc :

$$C_1 (N_p V + N_s R_s I) = \text{Log} \left(\frac{N_s (I_0 + I_{cc}) - I'}{N_p \cdot I_0} \right)$$

La différentielle de cette équation nous donne l'équation :

$$C_1 (N_p V - N_s R_s I) = \frac{I'}{N_p (I_0 + I_{cc})} - I' \quad (3)$$

D'où nous aurons :

$$\text{Log} \left[\frac{N_s (I_0 + I_{cc}) - I'}{N_p \cdot I_0} \right] \cdot \frac{I'}{N_p (I_0 + I_{cc}) - I'} = 2 C_1 N_s I' R_s$$

On remplace :

$$X = \frac{N_p (I_0 + I_{cc}) - I'}{N_p \cdot I_0}$$

$$G_1 = 2 C_1 N_P N_S R_S I_0$$

$$G_2 = I_{CC} / I_0$$

Donc nous aurons

$$X \log X = (G_1 X + 1) (G_2 - X) \quad (4)$$

Cette équation est résolue par la méthode de Newton-Raphson avec comme valeur initiale.

$$X_{\text{initial}} = G_2$$

D'où :

$$X_{i+1} = X_i - F(X) / F'(X)$$

Avec :
$$F(X) = X \log X - (G_1 X + 1) (G_2 - X)$$

Par itération on trouve la valeur de X solution de l'équation (5), telle que le calcul s'arrête pour :

$$(X_{i+1} - X_i) < \varepsilon$$

ε : donnée (très petit)

D'où, on tire la valeur de I_m et V_m au point optimal.

$$I_m = N_P [(I_0 + I_{CC}) - X - I_0]$$

$$V_m = \frac{N_s I_m R_s}{N_p} + \frac{I_m}{[N_p (I_0 + I_{CC}) - I_m] \cdot C_1 \cdot N_p}$$

Nous aurons la puissance maximum de générateur déterminée par la relation :

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

Dans le cas où la tension du générateur est fixe, le calcul de la valeur de I_m se fera par la méthode de Newton - Raphson pour résoudre l'équation suivante :

$$I = I_{CC} - I_0 (\exp C_1 (V_f + R_S I) - 1)$$

$$F(I) = I - I_{CC} + I_0 (\exp C_1 (V_f + R_S I) - 1)$$

Par itération, on trouve la valeur de I qui satisfait l'équation suivante:

$$I_{k+1} = I_k - F(I) / F'(I)$$

Le calcul s'arrête quand :

$$(I_{k+1} - I_k) < \varepsilon \quad \varepsilon : \text{très petit}$$

Calculons le rendement :

$$\eta_G = P_{\max} / E S_t$$

L'évolution du rendement en fonction de la température est de la forme suivante :

$$\eta_G = \eta_R (1 - \alpha (T_J - T_R)) \quad (6)$$

α : Coefficient de température, il se calcule pour deux température T_1 et T_2 comme suit :

$$\alpha = [1(\eta_1/\eta_2)/T_1 - T_2]$$

La puissance délivrée par générateur est donc :

$$P_g = \eta_g E S_t$$

III.3. Modèle de la température de jonction

La température de jonction est modélisée en utilisant la température ambiante et le NOCT (Normal Operating Cell Temperature).

Le NOCT est une grandeur caractéristique du module, il dépend fortement du type d'encapsulation qui est donné par le constructeur des modules.

La température de jonction est reliée à la température ambiante T_a , par la relation :

$$T_j = T_a + \left(\frac{\text{NOCT} - 20}{800} \right) \cdot E$$

Avec :

T_a et T_j : température ambiante et de jonction (°C).

E : éclairement énergétique global sur le plan des modules.

Cette méthode est valable seulement dans le cas des modules indépendants sur support et bien ventilés. [25]

III.4. Modélisation des éléments de pompage

Etude théorique

La puissance hydraulique Ph nécessaire pour soulever l'eau à une hauteur H sans pertes est :

$$Ph = g \left(\frac{Q \cdot H}{3.6} \right)$$

avec :

Ph : puissance hydraulique,

Q : débit ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$),

g : accélération de la pesanteur (m / s^2).

Le couple hydraulique τ_h de la pompe est donné par :

$$\tau_h = P_h / \omega'$$

ou encore :

$$\tau_h = \frac{g * Q * H}{3.6 * \Omega_0 * S'}$$

avec :

$$\Omega_0 = 2\pi / 60.$$

S' : vitesse de rotation (tr/mn).

Le couple résultant déterminé en additionnant les différents couples de frictions est : [26]

$$\tau_L = \tau_h + \tau_{pertes}$$

$$\tau_L = \frac{26.02 * Q * H}{S'}$$

La puissance à la sortie du moteur est :

$$P_{sm} = \tau * \omega'$$

où, τ : représente le couple résistant de l'ensemble pompe-colonne.

On a un couplage direct entre le moteur et la pompe, alors :

$$\tau = \tau_L$$

donc :

$$P_{sm} = 2.725 (Q * H) + 2\pi / 60 * \tau_{pertes} * S'$$

La hauteur manométrique H en fonction du débit Q s'écrit : [34]

$$H = a_0 * Q^2 + b_0 * S' * Q + c_0 * S'^2$$

d'où :

$$P_{sm} = A * Q^3 + B * Q^2 + C * Q + D$$

Les coefficients A, B, C et D dépendent de la hauteur manométrique et la vitesse de rotation.

III.5. Le modèle des éléments de pompage

A partir des données expérimentales qui ont été obtenues sur le banc d'essai à ARMINES (Ecole des Mines de Paris) avec l'accord de TED (Total Énergie Développement) Ils ont relié pour chaque type d'hydraulique et une hauteur manométrique (Hmt) donnée la puissance électrique au débit d'eau pompée. [12]

L'analyse de ces données a permis de retenir un modèle du type :

$$P = a Q^3 + b Q^2 + c Q + d \quad (1)$$

avec:

- p : puissance électrique entrée onduleur (w),
- Q: débit d'eau (m³. h⁻¹),
- a, b, c et d : sont des paramètres à identifier.

Le calcul du débit instantané Q en fonction de la puissance électrique P s'effectue à l'aide d'une résolution numérique de l'équation (1) «méthode de Newton».

De l'équation (1), on a:

$$Q = f (P, Q)$$

et à l'équation K^{ème} :

$$Q_K = Q_{K-1} - \frac{F(Q_{K-1})}{F'(Q_{K-1})}$$

III.6. Modélisation de l'installation complète

Cette étude et la modélisation de chaque partie nous conduit à déterminer le débit d'eau instantané à l'instant t donné, en fonction des éclairagements énergétiques dans le plan des modules.

L'onduleur à fréquence variable utilisé a la faculté de fixer la tension de fonctionnement du système. En effet, à l'aide de cette tension fixe, le courant de fonctionnement I_f peut être calculé en utilisant le modèle des modules photovoltaïques, et par conséquent le point de fonctionnement du système.

L'ensemble de ces points en fonction de l'intensité de l'éclairément sont représentés par la verticale qui passe par le point $V = V_f$ (Fig. 3.1).

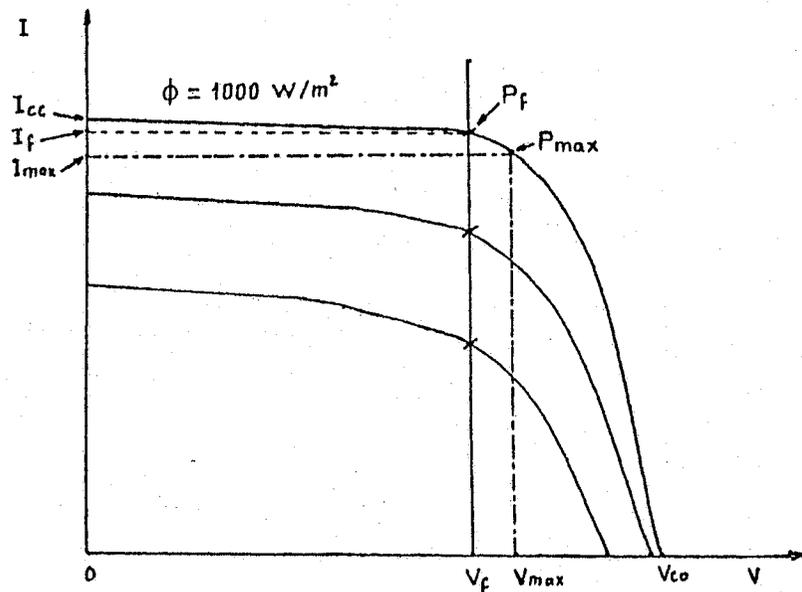


Figure 3.1 : Point de fonctionnement du système complet

Conclusion

La modélisation des composants du système a été basée sur des études théoriques et des relations empiriques. Cette étude a permis de développer le logiciel PVPUMP (Voir chapitre 4).

CHAPITRE 4

PRESENTATION ET APPLICATION DU LOGICIEL PVPUMP SUR SITES ALGERIENS

I. Description du logiciel

I.1. Introduction

Ce logiciel est conçu pour les intéressés des systèmes de pompage photovoltaïque, son but est de permettre la simulation de ces systèmes au fil du soleil. PV PUMP permet de calculer la quantité d'eau extraite par l'électropompe, la puissance électrique du générateur photovoltaïque ainsi que les performances du système de pompage hydraulique à l'échelle horaire et mensuelle pour plusieurs sites en Algérie et à l'étranger.

Ce logiciel est structuré pour qu'il soit simple et facile pour l'utilisateur, il possède une banque de données matérielles qui contient les données relatives à la modélisation du système photovoltaïque et à l'ensemble des éléments de pompage (convertisseur-moteur-pompe) et une banque de données météorologique relatives à la génération de l'éclairement global sur le plan des modules photovoltaïque pour plusieurs sites.

Voir l'organigramme de Pvpump dans la page suivante.

I.2. Fichiers des données et des résultats

Le logiciel contient 4 fichiers de données (file1, file2, file3 et file4) et 3 fichiers de résultats (Hourdat. Res, Jourdat. Res et Monthdat.Res).

Dans ces fichiers, PVPUMP lit les données et les adresses de fichiers de données météorologiques et matérielles ainsi que la sauvegarde des nouvelles données et adresses ainsi que les résultats horaires, journaliers et mensuels de la simulation. [14]

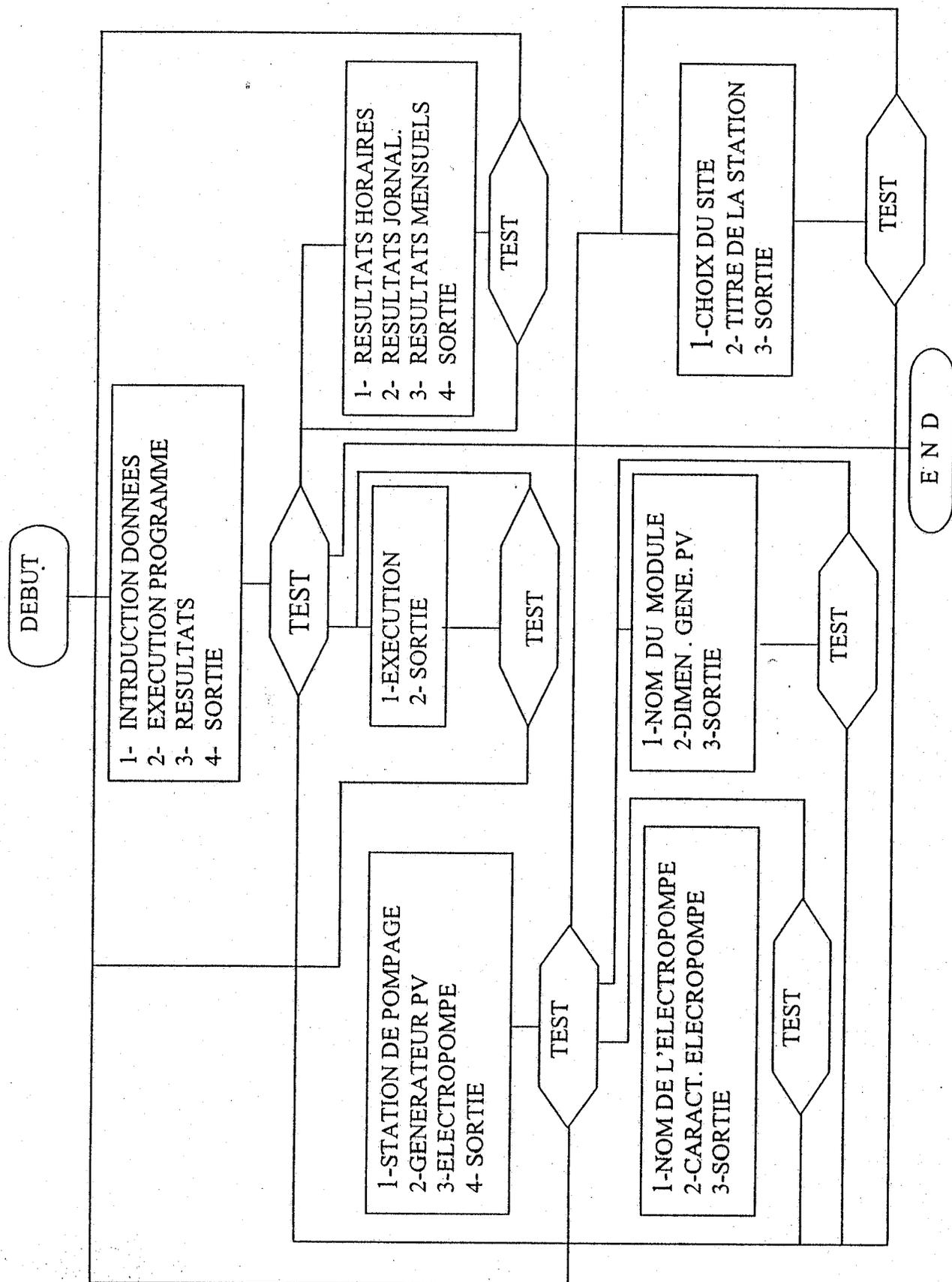


Figure 1 : ORGANIGRAMME DE PVPUMP

Liste des stations déjà disponibles dans PVPUMP : [13]

1.ADRAR	2. ANNABA	3. BATNA	4. BECHR
5.BISKRA	6. BOUZAREA	7. CHLEF	8. CONSTTNE
9.DJANET	10. ELGOLEA	11. ELOUED	12. GHARDAIA
13.H.MESSD	14. ILLIZI	15. INMENAS	16. INSALAH
17.LAGHOUAT	18. ORAN	19. OUARGLA	20. SKIKDA.
21.TAMARAS	22. TIMIMOUN	23. TINDOUF	24. TOUGOUR
25. MARRAKSH	26. NIAMEY	27. OUAGADOU	28. TOZEUR

Liste des modules photovoltaïques disponibles dans PVPUMP :

1. UDTS-50	2. AEG-TSG	3. BPX-4O2.
4. BPX-451	5. BPX-201	6. M-65.
7. M-75	8. M-55.	

Liste des éléments de pompage (convertisseur-moteur-pompe):

1. ENELMJ-1	(CDER 1K-ENEL 75OW - MITIDJA32)
2. ENELMJ-2	(CDER 1K -ENEL1.1kw -MITIDJA32).
3. ENELMJ -3 (*)	(CDER 2k -ENEL 1.1kw -MITIDJA32).
4. TSP-4000	(TED -P.S 2.2kw -TS4000).

(*) : N'est pas encore finalisée.

II. Caractérisation et étude des performances d'un système de pompage photovoltaïque au fil de soleil

II.1. Introduction

A cause du manque d'informations météorologique étalées sur plusieurs années, la connaissance des performances réelles du système de pompage photovoltaïque s'avère très difficile.

Dans cette partie, et à l'aide du logiciel PVPUMP, on a simulé et caractérisé le fonctionnement de l'électropompe ENELMJ-32. Elle est associée à un onduleur à fréquence variable CDER de 1000watts et un champ photovoltaïque de 1100 watts.

Notre objectif est de déterminer la configuration optimale du générateur photovoltaïque en fonction de la hauteur manométrique du pompage et le volume d'eau souhaité.

La simulation de fonctionnement est effectuée pour 3 sites : Adrar, Bouzaréah, et Tlemcen dont on a pu avoir les données météorologiques. Un travail de simulation a été opéré pour le site de Tlemcen, dans un cadre complémentaire au logiciel PVPUMP.

Pour cette étude, nous avons proposé 3 configurations du générateur photovoltaïque.

- **GEN. PV1:** est une configuration de 15 modules en série et 10 modules en parallèle, ie 15s x 10 p
- **GEN. PV2 :** est une configuration de 15s x 9p.
- **GEN.PV3:** est une configuration de 15s x 8p.

La comparaison entre les 3 cas de figure s'effectue sur le rendement de pompage mensuel moyen, le rendement total mensuel moyen, les pertes énergétiques totales mensuelles du système de pompage complet et le coefficient d'utilisation de l'énergie mensuel ainsi que le débit d'eau mensuel moyen.

II.2. Calcul et simulation

Les données nécessaires pour la simulation sont celles relatives aux composants du système.

Données météorologiques

Le site	Tlemcen	Adrar	Bouzaréa
Latitude du site	34.56	27.53	36.8
Longitude du site	1.19	0.17	3.09
Altitude du site	0.816	0.264	0.345
Albédo du sol	0.20	0.35	0.20
Azimut des modules	0.	0.	0.
Inclinaison des modules	35	35	35

Le site	Tlemcen	Adrar	Bouzaréa
Nom du fichier des valeurs de l'éclairement (E1, E2..) moyen mensuel en wh/m ² /jour	Tlem-m	Adrar-m	Bouzar-m
Nom du fichier des valeurs horaires moyennes mensuelles de la température ambiante T (mois/heure) en°C	Tlem-T	Adrar-T	Bouzar-T

Composants du système

La simulation de tout le système exige la connaissance des données suivantes : [15]

Le type des modules : UDTS-50

Le type de la pompe : ENEMLJ-32

La configuration choisie :

Les modules en série

15

15

15

Les modules en parallèle

10

9

8

Longueur du câble : 10m

Section du câble : 2.5mm²

Données relatives à la simulation

L'exécution du programme se déroule en introduisant toutes les données nécessaires pour la simulation. Par exemple pour le site de Tlemcen, pour la configuration GEN.PV1

Titre : Station expérimentale de Tlemcen

Site : Tlemcen **Latitude :** 34.56 **Longitude :** 1.19

Puissance crête du générateur PV. (Wc) : 7500

Nom du module photovoltaïque : UDTS-50

Nombre de modules en série : 15

Nombre de modules en parallèle : 10

Inclinaison du générateur PV : 35.0 degres
Azimut du générateur PV : 0 degres
Nom d'onduleur : C.D.E.R, 1 kw
Nom de l'électropompe : ENEL/MITIDJA 32, 1.1 kw
Tension de fonctionnement : 220 Volts
hauteur manométriques totale : 13.50 metres

II.3. Présentation des résultats

Les calculs de simulation se font selon la configuration du système adopté, la simulation est lancée tel que le système a été configuré, et au fur et a mesure que s'effectue le calcul. Les résultats mensuels ou horaires, sont obtenus sous forme de tableau.

Les paramètres du tableau horaire sont :

- IHTS : Temps horaire, en T.S.V.
- TEMPH: Temperature ambiente horaire, en °C.
- ECL : Eclairage global sur le plan des modules pv, en watts/m².
- CGEN : Courant électrique du générateur pv, en ampères.
- EPAN : Puissance électrique utile, en watts.
- PRTH : Pertes totales de la station (pertes dans les câbles, puissance insuffisante et non utilisée), en watts.
- DEBH : Débit d'eau, en m³/h.
- CUEH : Coefficient d'utilisation de l'énergie produite, en %.
- RCH : Rendement horaire de conversion photovoltaïque, en %.
- RPH : Rendement horaire des éléments de pompage, en %
- RTH : rendement horaire total de la station, en %.

Les paramètres du tableau mensuels sont :

- MOIS : Numéro du mois.
- EINM : Eclairage global mensuel moyen sur le plan des modules pv, en watts heure / m²/jour.
- EPANM : énergie électrique mensuelle moyenne utile, en watt heure/jour.
- SPM : Pertes totales mensuelle moyennes, en watts heures /jour.
- DEBH: Volume mensuel moyen d'utilisation de l'énergie, en %.
- RCM: Rendement mensuel moyen de conversion photovoltaïque, en %.
- RPM: Rendement mensuel moyen des éléments de pompage en %.
- RTM : Rendement mensuel moyen total de station, en %.

III. Résultats et discussion

L'ensemble des résultats des essais entrepris sur l'installation, est représenté par des tableaux regroupant les valeurs mesurées. Etant donné que le calcul s'effectue pour 3 villes, pour 3 configurations et pour des hauteurs manométriques différentes, alors nous avons opté pour une représentation graphique des résultats pour mieux clarifier la comparaison des performances, l'ensemble des tableaux sont représentés en annexe.

Les premiers résultats de la comparaison sont présentés ci-dessous concernant les 3 sites : Adrar, bouzareah et tlemcen.

Les figures 1 à 6, illustrent le rendement de pompage mensuel moyen et le rendement total mensuel moyen. nous observons l'existence d'une hauteur manométrique critique du système de pompage (HMTc).

Dans les 3 cas de figures de générateur photovoltaïque, HMT est comprise dans un intervalle entre les hauteurs manométriques 13 et 13.5 m, cet intervalle est appelé intervalle critique (INTC).

Pour les hauteurs manométriques inférieures à INTC, la configuration GEN.PV3 offre le meilleur rendement par rapport à la configuration GEN.PV1 et GEN.PV2.

Pour $H_{mt} = 8,5m$, les rendements par rapport aux configurations GEN.PV1 et GEN.PV2.

Pour $H_{mt} = 8,5m$, les rendements de pompage et total sont respectivement présentés dans le tableau ci-dessous :

	ADRAR		BOUZAREAH		TLEMEN	
	RPM %	RTM %	RPM %	RTM %	RPM %	RTM %
GEN.PV1	12.51	1.56	14.43	1.86	12.3	1.5
GEN.PV2	13.29	1.65	1.30	1.98	13.1	1.6
GEN.PV3	14.21	1.77	16.33	2.11	14	1.7

Pour les hauteurs manométriques supérieures à INTC, c'est toujours la configurations GEN.PV3 qui offre le meilleur rendement par rapport aux autres configurations.

Pour hmt = 18.5 m les rendement de pompage et total sont donnés dans le tableau suivant :

	ADRAR		BOUZAREAH		TLEMCEN	
	RPM%	RTM%	RPM%	RTM%	RPM%	RTM%
GEN.PV1	18.73	2.33	20.44	2.64	18.6	2.2
GEN.PV2	19.47	2.42	21.15	2.73	19.4	2.3
GEN.PV3	20.34	2.53	21.85	2.83	20.2	2.4

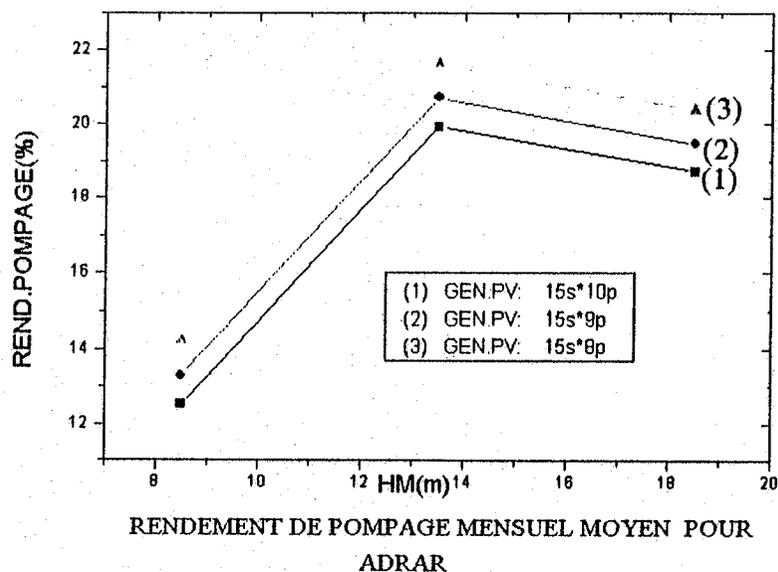


Figure 1

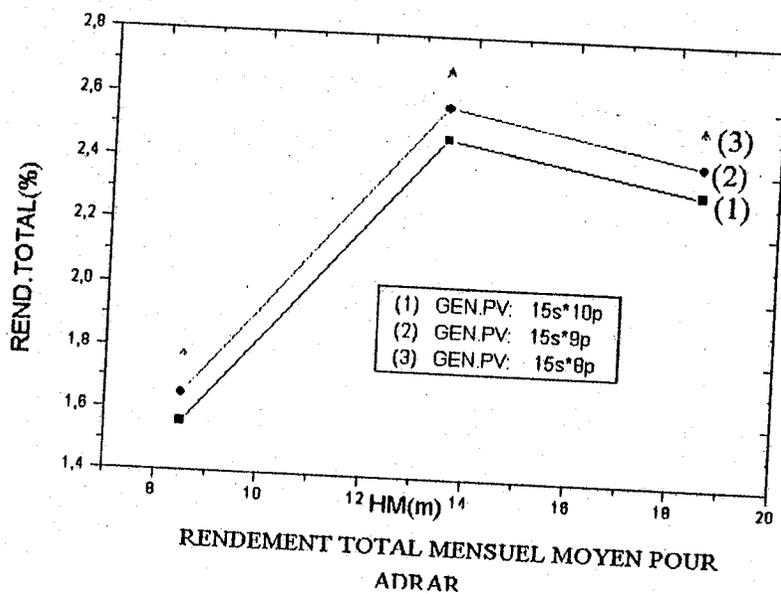


Figure 2

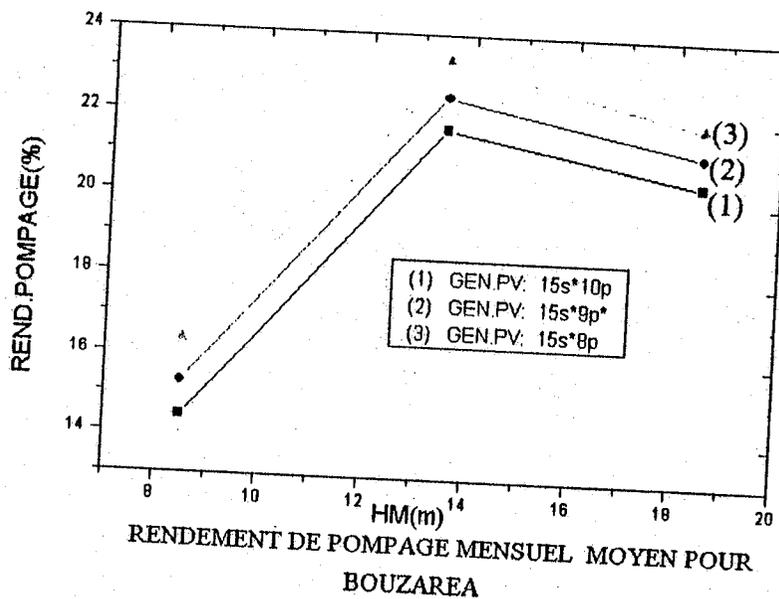


Figure 3

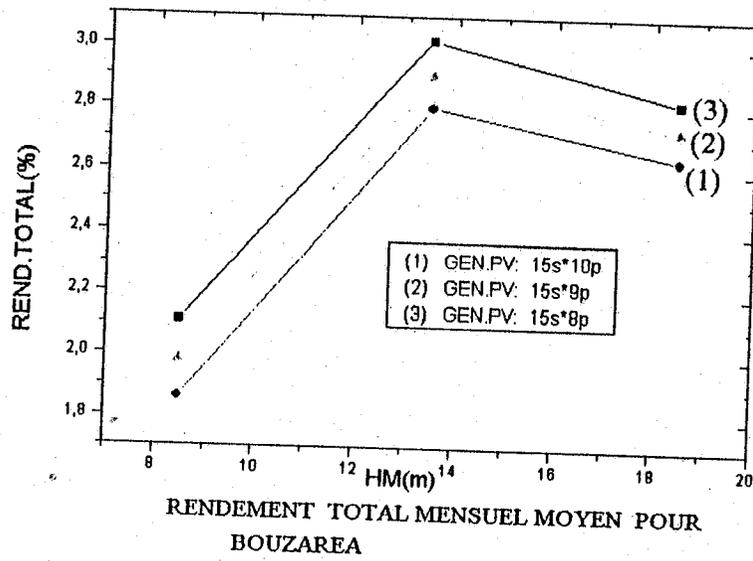


Figure 4

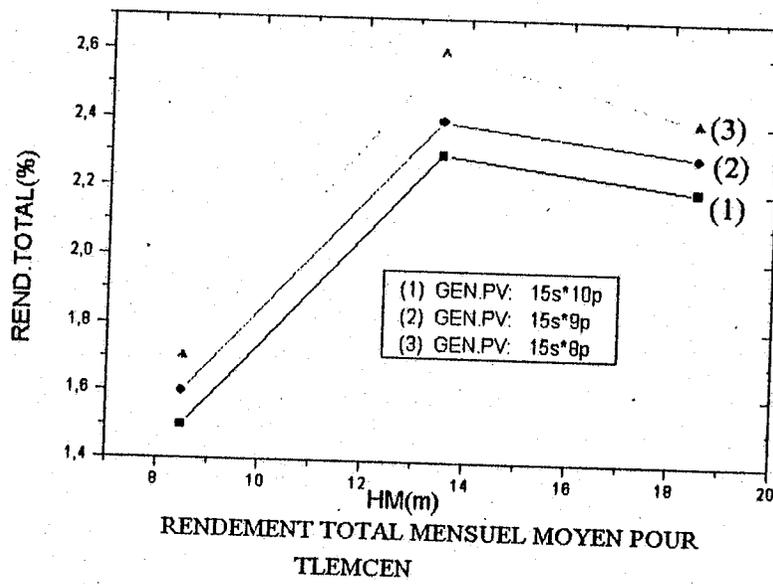


Figure 5

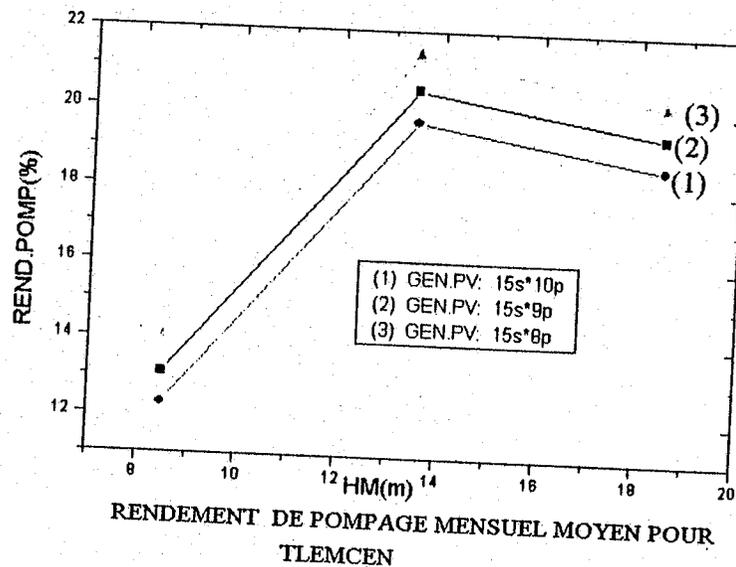


Figure 6

Pour toutes les hauteurs manométriques inférieures à INTC, et pour les 3 configurations du générateur photovoltaïque, les pertes totales mensuelles moyennes d'énergie sont faibles et elle ont relativement les mêmes pentes voir figure de 7 à 9.

Pour hmt = 8.5 m, les pertes énergétiques mensuelles sont affichées dans le tableau ci-dessous :

	ADRAR SPM WH\J	BOUZERAH SPM WH\J	TLEMSEN SPM WH\J
GEN.PV1	361.56	244.49	379
GEN.PV2	293.51	201.02	307
GEN.PV3	232.50	167.77	258

Par contre, pour les hauteurs manométriques supérieures à INTC, les pertes augmentent rapidement, et elles sont plus accentuées pour la configuration GEN.PV1 pour les sites de Tlemcen et Bouzareah fig. 8 et 9 et la configuration, GEN.PV3 pour le site d'Adrar fig 7.

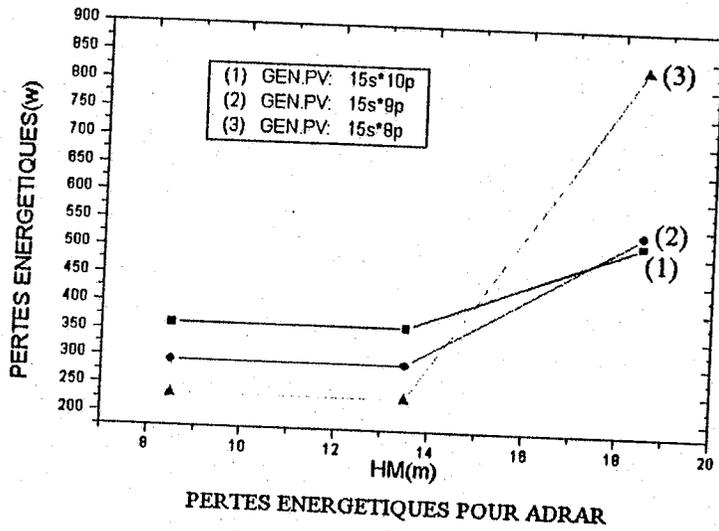


Figure 7

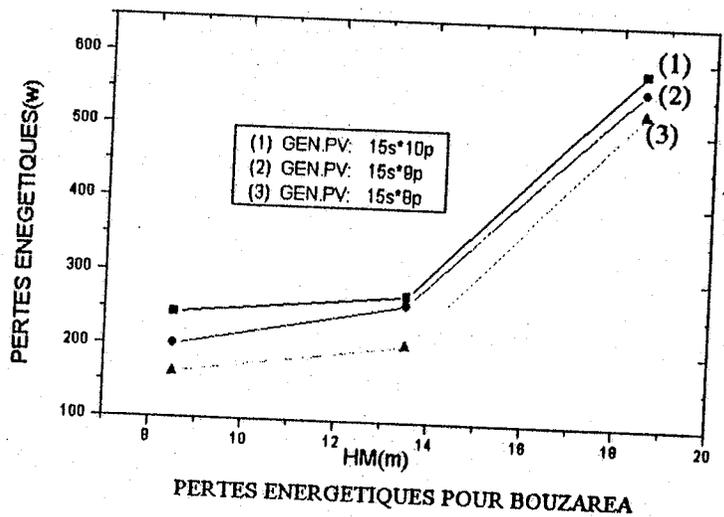


Figure 8

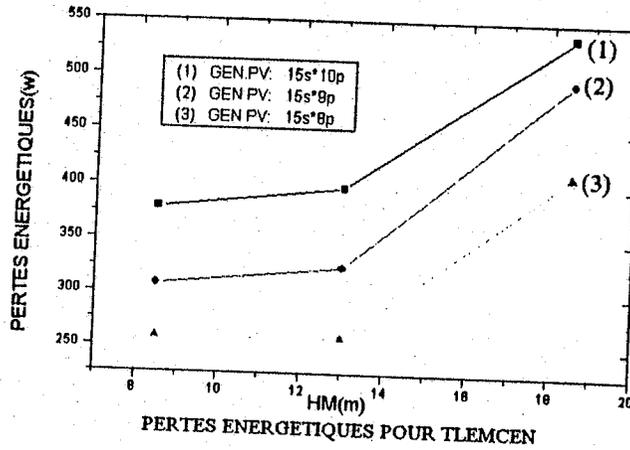


Figure 9

Le tableau suivant représente les pertes énergétiques mensuelles moyennes pour les 3 sites et pour Hmt = 18.5 m.

	ADRAR SPM WH\J	BOUZERAEH SPM WH\J	TLEMCEN SPM WH\J
GEN.PV1	517.7	583.1	537
GEN.PV2	536.02	557.14	496
GEN.PV3	831.18	525.40	411

Cette constatation est confirmée par les courbes de coefficients d'utilisation de l'énergie. En effet, ce coefficient descend de 99,3% pour Hmt = 8.5 m à 98% pour Hmt = 18.5 m pour le site de Bouzereah (Voir fig. 11). Pour le site de Tlemcen le coefficient d'utilisation de l'énergie varie de 99% pour Hmt=8,5m à 98% pour Hmt=18,5m (voir fig. 12).

Donc il n'y a pas une grande variation dans les coefficients d'utilisation de l'énergie, par conséquent sur les pertes Energétiques mensuelles moyennes pour le site de Tlemcen.

Pour le site d'Adrar, ce coefficient descend de 99% pour Hmt = 8.5 m à 97 % pour Hmt = 18.5 m voir fig 10.

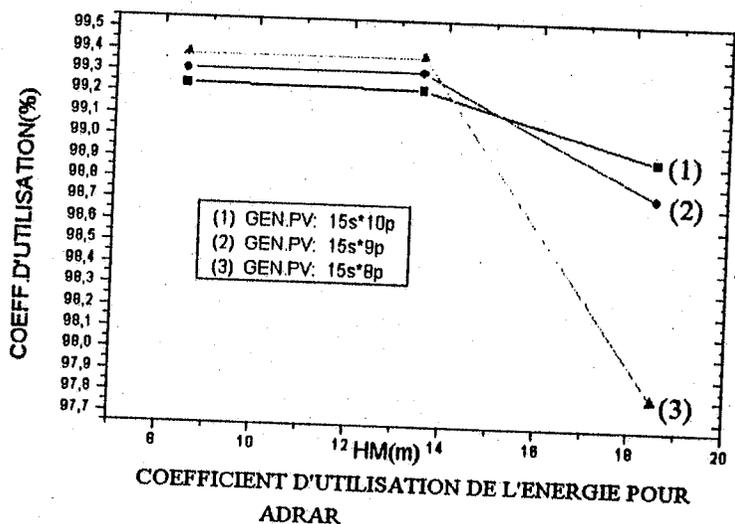


Figure 10

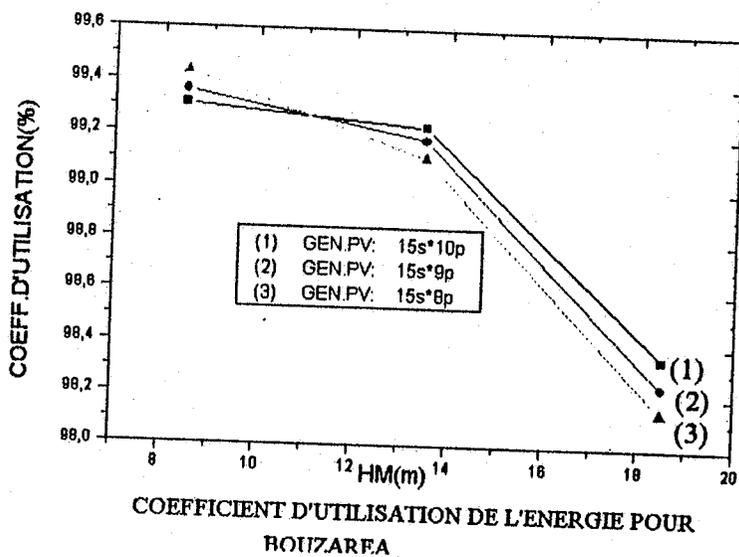


Figure 11

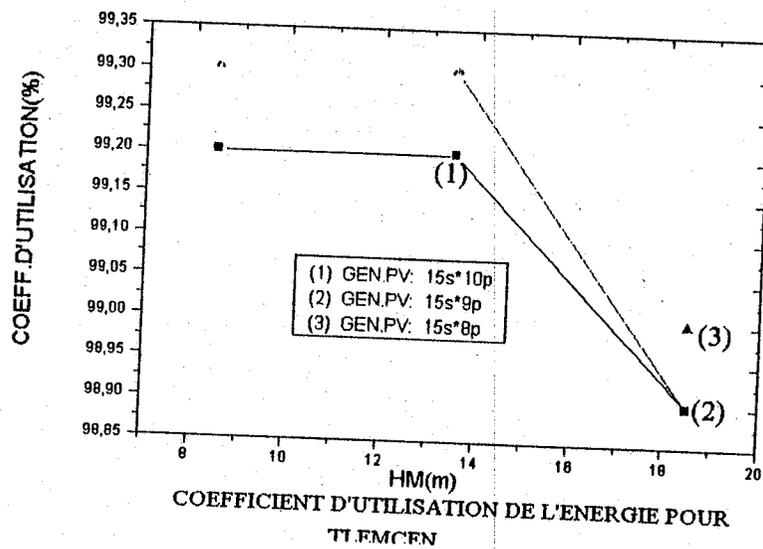


Figure 12

La production Energétique des 3 configurations est représentée dans le tableau 1.

CONFIGURATION	ADRAR	BOUZAREAH	TLEMEN
GEN PV1	47 434	35 384	49.303
GEN PV2	42 674,57	31 831	44 384
GEN PV3	37 918.5	28 282	39 398.08

Tableau 1 : Énergies produites en wh \ j pour les 3 config.

Pour Hmt= 8,5 m, la quantité d'eau extraite mensuelle moyenne pour les 3 configurations est présentée ci-dessous :

	ADRAR DBEM M3 \ J	BOUZAREAH DBEM M3 \ j	TLEMEN DBEM M3 \ J
GEN.PV1	254.38	219.1	260.1
GEN.PV2	243.26	209.16	248.7
GEN.PV3	231.33	198.43	236.5

Le tableau suivant présente la quantité d'eau extraite mensuelle moyenne pour les 3 configurations et pour Hmt = 18,5 m.

	ADRAR DBEM M3 \ j	BOUZAREAH DBEM M3 \ j	TLEMCEN DBEM M3 \ j
GEN.PV1	174.88	142.65	180.7
GEN.PV2	163.72	132.82	169.5
GEN.PV3	152.13	122.01	157.12

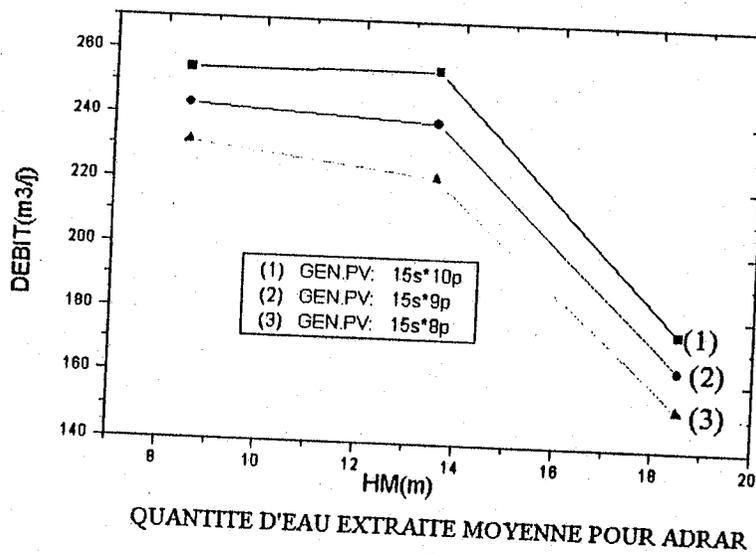


Figure 13

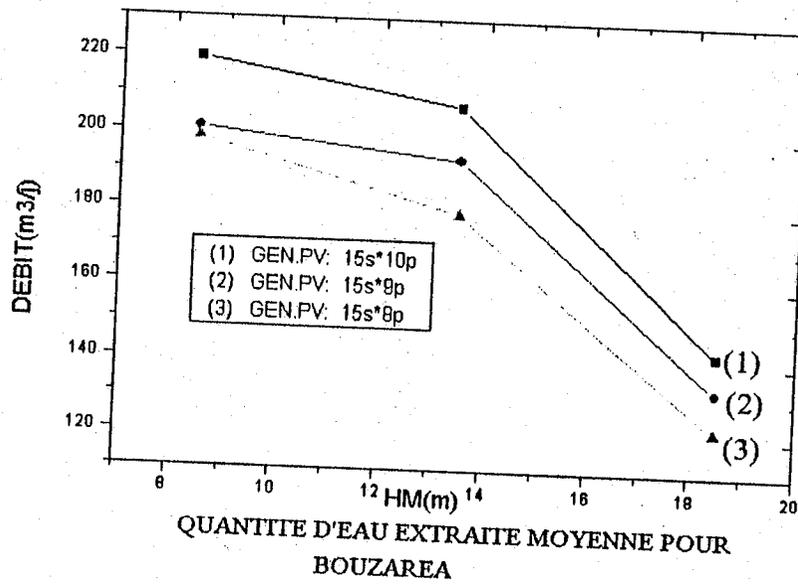


Figure 14

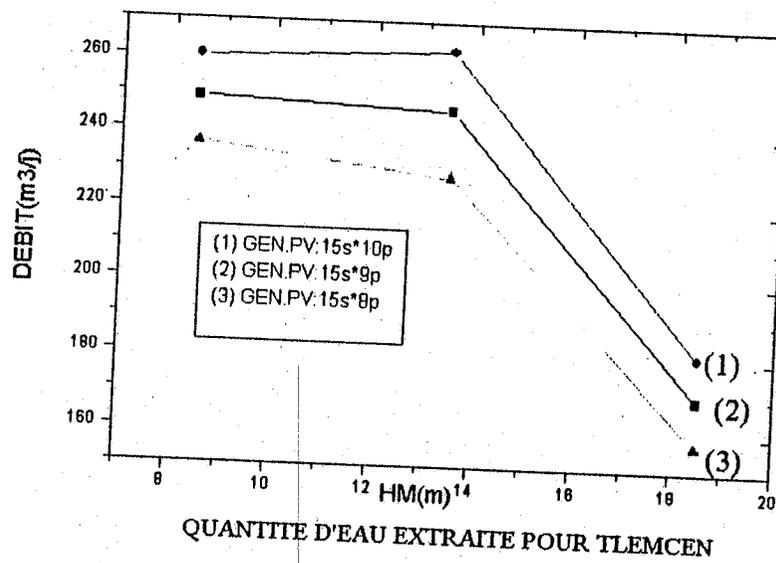


Figure 15

Pour une hauteur manométrique donnée, l'augmentation de la puissance du générateur photovoltaïque conduit à une augmentation du débit. Mais la configuration optimale ne peut être obtenue qu'avec le calcul du grain relatif en eau et en énergie entre les configuration par rapport à la hauteur manométrique.

villes	GEN.PV1\PV2		GEN.PV1\PV3		GEN.PV2\PV3	
	Énergie %	Eau %	Énergie %	Eau %	Énergie %	Eau %
ADRAR	89.99	93.61	79.93	86.99	88.85	92.92
BOUZAREAH	89.95	93.11	79.92	85.53	88.84	91.86
Tlemcen	90.02	93.80	79.90	86.95	88.76	92.69

Tableau 2 : Gains Energétiques et hydrauliques pour Hmt = 18.5 m

Villes	GEN.PV1\PV2		GEN.PV1\PV3		GEN.PV2\PV3	
	Énergie %	Eau %	Énergie %	Eau %	Énergie %	Eau %
ADRAR	89.99	95.62	79.93	90.93	88.85	95.09
BOUZAREAH	89.95	95.46	79.92	90.57	88.84	94.86
TLEMEN	90.02	95.61	79.90	90.92	88.76	95.09

Tableau 3 : Gains Energétiques et hydrauliques pour Hmt = 8.5 m

Le passage du GEN.PV1 au GEN.PV2 correspond à une augmentation de 89.9 % d'énergie, mais le gain en eau est variable selon la hauteur manométrique du pompage pour Tlemcen, le grain en eau est de 95.6% pour une Hmt=8.5m et de 93.8% pour Hm = 18.5m (Tableaux 2 et 3). Donc pour les hauteurs manométriques inférieures à INTC, la configuration GEN.PV2 est la plus intéressante parce que une augmentation d'énergie de 89.9 % nous a fait gagner un gain en eau de 95.6 % par contre pour les hauteurs manométriques supérieures à INTC, cette configuration est moins intéressante, la même valeur du gain énergétique n'a fait élever la quantité d'eau extraite que de 93.8%.

Le passage de GEN.PV1 au GEN.PV3 correspond à une augmentation de 79.9% par contre le gain hydraulique varie toujours selon la hauteur manométrique.

Pour Hmt = 18.5m, la configuration GEN.PV3 est plus intéressante pour les hauteurs manométrique inférieures à INTC, car une élévation d'énergie de 79.9% nous a fait gagner un débit de 90.9% et pour le même gain énergétique, la quantité d'eau extraite est de 86.9% donc cette configuration est moins intéressante pour des hauteurs manométrique supérieures à INTC.

Ces différents résultat des gains énergétiques et hydrauliques sont illustrés dans la figure 16. Cette représentation nous permis de bien voir la différence des gains entre les trois configuration du générateur photovoltaïque.

En effet, nous remarquons que le passage de la configuration GEN.PV1 au GEN.PV3, pour une hauteur manométrique de 18.5m, ne peut être justifier rentable que pour satisfaire une demande en eau au détriment de la rentabilité. Par contre pour une hauteur manométrique de 8.5 m, l'augmentation en puissance du générateur photovoltaïque est rentable économiquement car le gain hydraulique est supérieure par rapport au gain énergétique, il est 1.06 fois pour GEN.PV1\PV2, 1.13 fois pour GEN.PV1\PV3 et 1.07 fois pour GEN.PV2\PV3.

En somme, la configuration optimale qu'on peut déduire est la troisième configuration car elle présente plus d'avantage que les autres, un grand débit avec moins de puissance et de pertes énergétiques de puissance.

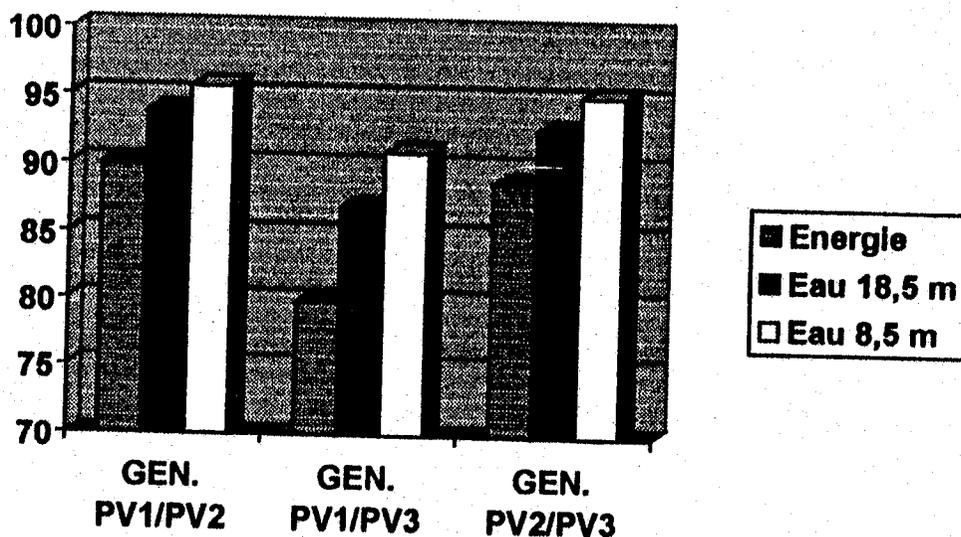


Figure 16 : Gains énergétiques et hydrauliques pour le site de Tlemcen

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le but d'étudier les performances et la fiabilité des systèmes photovoltaïques, nous avons présenté un travail se rapportant à une installation de pompage hydraulique sur le site de Tlemcen, Bouzeréah et Adrar.

L'ensemble des travaux effectués à été basé sur l'utilisation du logiciel PV PUMP qui peut être un outil performant et apporter un appui efficace au concepteur d'installation des systèmes de pompage photovoltaïque au fil du soleil.

La simulation nous a permis d'avoir les énergies délivrées par le système, les pertes énergétiques, la quantité d'eau extraite, ainsi que le rendement des éléments du système et le rendement total en fonction de la puissance du flux solaire et de la demande d'énergie de l'utilisation à chaque période de l'année.

Elle avait pour but également d'offrir au concepteur, les données météorologiques, les bilans horaires et mensuels, et les comportements énergétiques qui sont des informations indispensables pour critiquer les choix techniques des systèmes simulés et aussi d'optimiser le rendement de l'installation complète.

La finalité de cette étude était de valoriser le rôle important que joue la disponibilité des données météorologiques et le système de suivi sur une longue période afin d'effectuer une bonne simulation et obtenir des résultats satisfaisants.

Dans notre étude, nous avons rencontré un problème de programmation informatique, c'est à dire un manque de paramètres afin d'optimiser le rendement global en utilisant les équations non-linéaire qui représentent le modèle physique du système complet et les contraintes d'égalité.

Enfin, le travail entrepris dans le cadre de cette thèse à ouvert une direction de recherche qui mérite à notre avis d'être approfondi, en particulier :

- Dans le domaine du dimensionnement de l'installation en considérant la demande énergétique d'une part, et l'apport énergétique solaire d'autre part, sans oublier la gestion intermédiaire de cette énergie.

- Dans le domaine du stockage de l'énergie électrique : la production de l'énergie par les systèmes photovoltaïque est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques, c'est pourquoi il faudra penser à stocker cette énergie pour la restituer pendant la nuit et les jours sans soleil, on peut penser à améliorer les moyens de stockage afin de minimiser les pertes énergétiques et le prix de revient du système.

ANNEXES

ANNEXE 1

Méthode de Newton-Raphson

Cette méthode permet de résoudre une équation de la forme : $f(x)=0$.
Soit la fonction $f(x)$ continue est dérivable dans un voisinage de x_0 de la solution, son développement en série de TAYLOR autour du point x_n est :

$$F(x_0) = f(x_n) + f'(x_n) (x_0 - x_n) + \frac{(x_0 - x_n)^2}{2} f''(x_n) + \dots$$

Pour x' estimé proche de la solution x_0 : $f(x_0) = 0$.

En : $(x_0 - x_n)$ est négligeable.

Donc :
$$f(x_n) - f'(x_n) (x_0 - x_n) = 0$$

D'où :
$$x^n = x_0 - \frac{f(x^n)}{f'(x^n)}$$

On définit ainsi l'algorithme de Newton-Raphson :

$$x^{n+1} = x^n - \frac{f(x^n)}{f'(x^n)} \quad \text{avec : } n=0,1,\dots$$

L'arrêt des itérations serait pour : $(x_{n+1} - x_n) \leq \varepsilon$, ε donnée.

Quant l'écart est très petit, la solution du problème est $x_0 = x_{n+1}$.

La convergence de cette méthode est rapide.

ANNEXE 2

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	34817,71	34613,36	204,3516	143,529	99,41308	11,43211	20,90422	2,37577
2	7854,439	38374,16	38135,49	238,6749	155,6956	99,37803	11,30941	20,58188	2,31321
3	8417,694	41385,57	41123,2	1101,977	162,1308	97,3373	11,38078	19,87545	2,24764
4	8249,821	41712,34	41452,2	260,1378	162,8959	99,37635	11,70405	19,81075	2,3042
5	7834,212	41344,23	41090,73	253,4995	163,9112	99,38686	12,21619	20,10958	2,44156
6	7473,13	40814,74	40568,18	246,5586	163,101	99,3959	12,64244	20,26793	2,54688
7	7471,375	41368,95	41115,45	253,5027	164,4609	99,38721	12,81711	20,16489	2,56872
8	7761,913	42405,48	42136,96	268,5165	165,6451	99,36679	12,64647	19,81772	2,49037
9	7941,98	42065,04	41794,61	1263,283	163,1506	96,99683	12,26052	19,67916	2,39726
10	7719,241	39850,9	39595,88	438,0387	158,8435	98,9008	11,95033	20,22356	2,40132
11	7075,543	35859,26	35644,02	215,2408	146,9323	99,39977	11,73162	20,78111	2,42333
12	6607,757	32778,53	32592,66	185,8666	135,1886	99,43296	11,4829	20,91021	2,38748
Moy.	7621,42	39398,08	39155,23	411	157,12	99	12	20,2	2,4

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	39196,14	38937,54	258,5961	154,6331	99,34025	11,43976	20,02037	2,27517
2	7854,439	43200,94	42898,92	302,0188	167,2258	99,3009	11,31727	19,65148	2,20846
3	8417,694	46590,68	46258,68	1276,533	173,6599	97,26011	11,38858	18,92538	2,13997
4	8249,821	46956,85	46627,71	329,1422	176,7728	99,29906	11,71165	19,11215	2,22266
5	7834,212	46538,9	46218,19	320,6978	177,7324	99,31091	12,22319	19,38616	2,35328
6	7473,13	45937,88	45626,03	311,8498	176,8547	99,32115	12,6483	19,54079	2,4548
7	7471,375	46555,39	46234,86	320,5298	178,2299	99,31151	12,82133	19,43342	2,47447
8	7761,913	47722,65	47383,14	339,5063	179,4282	99,28858	12,65084	19,08996	2,39786
9	7941,98	47347,46	47005,42	1458,97	174,6954	96,91859	12,26681	18,73578	2,28168
10	7719,241	44859,54	44536,9	528,5187	170,4408	98,82184	11,9576	19,29264	2,29034
11	7075,543	40367,98	40095,63	272,3558	158,083	99,32532	11,73927	19,87589	2,31754
12	6607,757	36899,97	36664,76	235,2094	146,2674	99,36258	11,49041	20,11115	2,29612
Moy.	7621	44384	44041	496	169,5	98,9	12	19,4	2,3

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	43580,34	43261,14	319,2089	165,0306	99,26754	11,44739	19,23113	2,18534
2	7854,439	48034,32	47661,53	372,795	177,5593	99,2239	11,32512	18,78078	2,11044
3	8417,694	51802,78	51393	1459,249	184,1308	97,18307	11,39636	18,06178	2,0421
4	8249,821	52208,05	51801,82	406,2302	189,2184	99,2219	11,71923	18,41435	2,14123
5	7834,212	51739,33	51343,59	395,7516	190,0476	99,23511	12,23015	18,66012	2,2647
6	7473,13	51065,58	50680,82	384,7494	189,0984	99,24656	12,65412	18,80972	2,36227
7	7471,375	51744,99	51349,66	395,3309	190,4912	99,236	12,82549	18,70146	2,38023
8	7761,913	53043,21	52624,48	418,7272	191,8237	99,21059	12,65515	18,37607	2,30716
9	7941,98	52635,09	52213,09	1035,23	185,2309	98,0332	12,27306	17,88432	2,17736
10	7719,241	49874,1	49475,95	626,9026	180,8442	98,74303	11,96483	18,42674	2,18713
11	7075,543	44882,48	44546,31	336,1689	168,5272	99,251	11,7469	19,07201	2,22359
12	6607,757	41026,74	40736,39	290,347	156,3562	99,2923	11,49792	19,34954	2,20905
Moy.	7621	49303	48924	537	180,7	98,9	12	18,6	2,2

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	34817,71	34613,36	204,3516	205,6851	99,41308	11,43211	21,86046	2,48444
2	7854,439	38374,16	38135,49	238,6749	221,0366	99,37803	11,30941	21,32235	2,39643
3	8417,694	41385,57	41123,2	262,3823	236,0487	99,366	11,38078	21,11616	2,38795
4	8249,821	41712,34	41452,2	260,1378	240,9055	99,37635	11,70405	21,37959	2,48667
5	7834,212	41344,23	41090,73	253,4995	240,514	99,38686	12,21619	21,53261	2,61434
6	7473,13	40814,74	40568,18	246,5586	238,8806	99,3959	12,64244	21,66186	2,72204
7	7471,375	41368,95	41115,45	253,5027	240,8345	99,38721	12,81711	21,54834	2,74495
8	7761,913	42405,48	42136,96	268,5165	243,8905	99,36679	12,64647	21,29276	2,67573
9	7941,98	42065,04	41794,61	270,4309	239,5189	99,35711	12,26052	21,08238	2,56819
10	7719,241	39850,9	39595,88	438,0387	225,6024	98,9008	11,95033	20,96014	2,48878
11	7075,543	35859,26	35644,02	215,2408	210,0102	99,39977	11,73162	21,67475	2,52754
12	6607,757	32778,53	32592,66	185,8666	196,1623	99,43296	11,4829	22,14093	2,52801
Moy.	7621	39398	39155	258	228,3	99,3	12	21,4	2,6

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	39196,14	38937,54	258,5961	221,4297	99,34025	11,43976	20,92028	2,37744
2	7854,439	43200,94	42898,92	302,0188	237,8657	99,3009	11,31727	20,39791	2,29235
3	8417,694	46590,68	46258,68	331,9991	254,5437	99,28741	11,38858	20,24274	2,28893
4	8249,821	46956,85	46627,71	329,1422	259,6088	99,29906	11,71165	20,48215	2,38198
5	7834,212	46538,9	46218,19	320,6978	259,2861	99,31091	12,22319	20,63795	2,50523
6	7473,13	45937,88	45626,03	311,8498	257,5419	99,32115	12,6483	20,76517	2,60861
7	7471,375	46555,39	46234,86	320,5298	259,5867	99,31151	12,82133	20,65442	2,62994
8	7761,913	47722,65	47383,14	339,5063	262,5986	99,28858	12,65084	20,38773	2,56087
9	7941,98	47347,46	47005,42	342,0447	258,1596	99,27759	12,26681	20,20415	2,4605
10	7719,241	44859,54	44536,9	528,5187	242,6799	98,82184	11,9576	20,04537	2,37971
11	7075,543	40367,98	40095,63	272,3558	225,9978	99,32532	11,73927	20,73517	2,41773
12	6607,757	36899,97	36664,76	235,2094	211,3736	99,36258	11,49041	21,20811	2,42137
Moy.	7621	44348	44041	324	245,9	99,3	12	20,5	2,4

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	34817,71	34613,36	204,3516	205,6851	99,41308	11,43211	21,86046	2,48444
2	7854,439	38374,16	38135,49	238,6749	221,0366	99,37803	11,30941	21,32235	2,39643
3	8417,694	41385,57	41123,2	262,3823	236,0487	99,366	11,38078	21,11616	2,38795
4	8249,821	41712,34	41452,2	260,1378	240,9055	99,37635	11,70405	21,37959	2,48667
5	7834,212	41344,23	41090,73	253,4995	240,514	99,38686	12,21619	21,53261	2,61434
6	7473,13	40814,74	40568,18	246,5586	238,8806	99,3959	12,64244	21,66186	2,72204
7	7471,375	41368,95	41115,45	253,5027	240,8345	99,38721	12,81711	21,54834	2,74495
8	7761,913	42405,48	42136,96	268,5165	243,8905	99,36679	12,64647	21,29276	2,67573
9	7941,98	42065,04	41794,61	270,4309	239,5189	99,35711	12,26052	21,08238	2,56819
10	7719,241	39850,9	39595,88	438,0387	225,6024	98,9008	11,95033	20,96014	2,48878
11	7075,543	35859,26	35644,02	215,2408	210,0102	99,39977	11,73162	21,67475	2,52754
12	6607,757	32778,53	32592,66	185,8666	196,1623	99,43296	11,4829	22,14093	2,52801
13	7621	49303	48924	398	262,4	99,2	12	19,7	2,3

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	34817,71	34613,36	204,3516	213,4852	99,41308	11,43211	14,28596	1,6236
2	7854,439	38374,16	38135,49	238,6749	224,72	99,37803	11,30941	13,6489	1,53401
3	8417,694	41385,57	41123,2	262,3823	245,8503	99,366	11,38078	13,84743	1,56596
4	8249,821	41712,34	41452,2	260,1378	250,4109	99,37635	11,70405	13,99236	1,62746
5	7834,212	41344,23	41090,73	253,4995	250,6994	99,38686	12,21619	14,13171	1,71577
6	7473,13	40814,74	40568,18	246,5586	249,6502	99,3959	12,64244	14,25384	1,79115
7	7471,375	41368,95	41115,45	253,5027	250,9942	99,38721	12,81711	14,13982	1,80121
8	7761,913	42405,48	42136,96	268,5165	252,7161	99,36679	12,64647	13,89169	1,74569
9	7941,98	42065,04	41794,61	270,4309	248,6445	99,35711	12,26052	13,77984	1,67862
10	7719,241	39850,9	39595,88	438,0387	227,8622	98,9008	11,95033	13,32931	1,5827
11	7075,543	35859,26	35644,02	215,2408	216,6253	99,39977	11,73162	14,07693	1,64154
12	6607,757	32778,53	32592,66	185,8666	206,3209	99,43296	11,4829	14,66252	1,67414
13	7621	39398	39155	258	236,5	99,3	12	14	1,7

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	39196,14	38937,54	258,5961	224,4011	99,34025	11,43976	13,34879	1,51699
2	7854,439	43200,94	42898,92	302,0188	236,0681	99,3009	11,31727	12,74607	1,43242
3	8417,694	46590,68	46258,68	331,9991	258,6419	99,28741	11,38858	12,95064	1,46438
4	8249,821	46956,85	46627,71	329,1422	263,4971	99,29906	11,71165	13,08932	1,52223
5	7834,212	46538,9	46218,19	320,6978	263,5945	99,31091	12,22319	13,21018	1,60358
6	7473,13	45937,88	45626,03	311,8498	262,4927	99,32115	12,6483	13,3257	1,67403
7	7471,375	46555,39	46234,86	320,5298	263,8753	99,31151	12,82133	13,21949	1,68325
8	7761,913	47722,65	47383,14	339,5063	265,67	99,28858	12,65084	12,9868	1,63126
9	7941,98	47347,46	47005,42	342,0447	261,5069	99,27759	12,26681	12,88608	1,56929
10	7719,241	44859,54	44536,9	322,6388	239,8129	99,28078	11,9576	12,47205	1,48063
11	7075,543	40367,98	40095,63	272,3558	227,6595	99,32532	11,73927	13,15147	1,53347
12	6607,757	36899,97	36664,76	235,2094	216,9664	99,36258	11,49041	13,70657	1,5649
13	7621	44384	44041	307	248,7	99,3	12	13,1	1,6

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	7050,018	43580,34	43261,14	319,2089	234,5275	99,26754	11,44739	12,55687	1,42691
2	7854,439	48034,32	47661,53	372,795	246,5973	99,2239	11,32512	11,98411	1,34668
3	8417,694	51802,78	51393	409,7773	270,4972	99,20897	11,39636	12,19114	1,37836
4	8249,821	52208,05	51801,82	406,2302	275,4645	99,2219	11,71923	12,31703	1,43223
5	7834,212	51739,33	51343,59	395,7516	275,5522	99,23511	12,23015	12,43091	1,50869
6	7473,13	51065,58	50680,82	384,7494	274,4001	99,24656	12,65412	12,54082	1,57497
7	7471,375	51744,99	51349,66	395,3309	275,8167	99,236	12,82549	12,44137	1,58348
8	7761,913	53043,21	52624,48	418,7272	277,6783	99,21059	12,65515	12,22192	1,53449
9	7941,98	52635,09	52213,09	422,0041	273,4279	99,19824	12,27306	12,12967	1,47675
10	7719,241	49874,1	49475,95	398,1509	251,9548	99,20169	11,96483	11,79543	1,40004
11	7075,543	44882,48	44546,31	336,1689	237,8959	99,251	11,7469	12,36974	1,44218
12	6607,757	41026,74	40736,39	290,347	226,8402	99,2923	11,49792	12,89801	1,47251
13	7621	49303	48924	379	260,1	99,2	12	12,3	1,5

Résultats mensuels pour le site de Tlemcen.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	19193,03	19116,67	180,2197	88,3335	99,06101	12,89912	23,2944	2,99282
2	4366,842	24106,29	23997,99	1020,058	104,7607	95,76849	12,77848	22,00705	2,79953
3	5476,967	29808,26	29656,92	248,6801	128,2517	99,16573	12,59832	21,80095	2,73261
4	5523,71	30434,53	30288,81	965,1797	130,7691	96,82867	12,75416	21,76513	2,76267
5	5834,462	32620,47	32462,54	268,9668	138,9232	99,17547	12,94213	21,574	2,77862
6	5984,997	33921,19	33756,24	531,1832	145,0188	98,43407	13,11968	21,6575	2,82758
7	6078,758	34739,23	34563,93	446,8065	147,1245	98,71383	13,22884	21,45853	2,82439
8	5570,521	32250,82	32091,39	1272,277	136,095	96,05505	13,40174	21,37921	2,85102
9	5522,366	31255,82	31095,58	583,0812	133,0819	98,13449	13,10153	21,57539	2,81221
10	5091,167	28780,15	28633,09	147,0634	121,6583	99,48901	13,08555	21,41962	2,78855
11	4196,503	23422,34	23315,22	566,104	103,4009	97,58306	12,9199	22,35749	2,87535
12	3367,237	18849,88	18774,65	75,22842	86,79434	99,60091	12,95839	23,30547	3,00796
13	5038,151	28281,83	28146,09	525,4041	122,0177	98,14226	12,99429	21,8546	2,82622

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	21601,76	21505,13	213,4732	96,94797	99,01178	12,90486	22,72662	2,91972
2	4366,842	27132,86	26995,82	1162,761	113,4225	95,71456	12,78474	21,18074	2,69423
3	5476,967	33552,03	33360,54	301,001	139,3137	99,10288	12,60499	21,05228	2,63849
4	5523,71	34256,09	34071,71	1106,269	141,7612	96,77059	12,76059	20,97498	2,66212
5	5834,462	36715,51	36515,69	324,737	152,2418	99,11553	12,94829	21,01806	2,70667
6	5984,997	38178,4	37969,72	620,6933	158,2152	98,37423	13,12555	21,00628	2,74212
7	6078,758	39097,13	38875,37	527,1854	160,1678	98,6516	13,23408	20,77011	2,73314
8	5570,521	36295,17	36093,51	818,003	147,3327	97,74625	13,40654	20,57824	2,7435
9	5522,366	35178,16	34975,46	678,3966	144,1565	98,07154	13,10725	20,77825	2,70776
10	5091,167	32392,13	32206,09	186,0476	132,8522	99,42564	13,0914	20,79548	2,70678
11	4196,503	26362,8	26227,24	651,8977	112,0537	97,52721	12,9261	21,53831	2,76975
12	3367,237	21215,51	21120,31	95,19939	95,42204	99,55128	12,96413	22,77648	2,93952
13	5038,151	31831,46	31659,71	557,1387	132,8239	98,24973	13,00017	21,14987	2,73468

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	24012,62	23893,34	249,1075	104,7719	98,9626	12,91059	22,10579	2,83981
2	4366,842	30162,35	29993,19	1308,835	121,222	95,6607	12,79098	20,37497	2,59154
3	5476,967	37299,7	37063,34	358,0294	149,1519	99,04013	12,61164	20,28721	2,54234
4	5523,71	38081,45	37853,86	1251,891	151,5536	96,7126	12,767	20,18339	2,56141
5	5834,462	40814,37	40567,75	385,4144	164,0507	99,05569	12,95444	20,38616	2,62495
6	5984,997	42439,33	42181,8	715,3201	169,9596	98,31449	13,13139	20,31229	2,6511
7	6078,758	43458,35	43184,73	612,9849	171,9869	98,58949	13,23929	20,07721	2,64134
8	5570,521	40342,3	40093,48	248,8187	159,2248	99,38323	13,41131	20,02052	2,66845
9	5522,366	39103,83	38853,7	778,6729	154,0313	98,00871	13,11295	19,98549	2,60392
10	5091,167	36007,25	35777,67	229,5893	142,7374	99,36238	13,09721	20,11241	2,61737
11	4196,503	29306,04	29138,72	741,0248	119,8401	97,47143	12,9323	20,73336	2,66599
12	3367,237	23583,22	23465,7	117,5157	103,2487	99,5017	12,96987	22,18141	2,86257
13	5038,151	35384,24	35172,28	583,1003	142,6482	98,35209	13,00603	20,4458	2,64326

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	19193,03	19116,67	180,2197	128,9192	99,06101	12,89912	24,80879	3,18738
2	4366,842	24106,29	23997,99	108,2977	155,9037	99,55075	12,77848	23,89911	3,04022
3	5476,967	29808,26	29656,92	248,6801	185,2331	99,16573	12,59832	22,97697	2,88002
4	5523,71	30434,53	30288,81	145,7208	192,8853	99,5212	12,75416	23,42702	2,97361
5	5834,462	32620,47	32462,54	268,9668	206,2822	99,17547	12,94213	23,3765	3,01077
6	5984,997	33921,19	33756,24	531,1832	212,251	98,43407	13,11968	23,13108	3,01997
7	6078,758	34739,23	34563,93	446,8065	215,4935	98,71383	13,22884	22,93566	3,01881
8	5570,521	32250,82	32091,39	159,4306	203,0505	99,50565	13,40174	23,2764	3,10402
9	5522,366	31255,82	31095,58	583,0812	190,7486	98,13449	13,10153	22,56643	2,94139
10	5091,167	28780,15	28633,09	147,0634	179,1938	99,48901	13,08555	23,02264	2,99725
11	4196,503	23422,34	23315,22	107,1278	147,5294	99,54263	12,9199	23,27765	2,99369
12	3367,237	18849,88	18774,65	75,22842	127,4162	99,60091	12,95839	24,96624	3,22231
13	5038,151	28281,83	28146,09	250,1505	178,7422	99,11551	12,99429	23,36196	3,02115

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	21601,76	21505,13	213,4732	139,7222	99,01178	12,90486	23,90141	3,07065
2	4366,842	27132,86	26995,82	137,0424	169,0097	99,49492	12,78474	23,03113	2,9296
3	5476,967	33552,03	33360,54	301,001	200,0261	99,10288	12,60499	22,05738	2,76446
4	5523,71	34256,09	34071,71	184,3885	209,035	99,46174	12,76059	22,56968	2,86452
5	5834,462	36715,51	36515,69	324,737	223,1086	99,11553	12,94829	22,47694	2,89454
6	5984,997	38178,4	37969,72	620,6933	229,2813	98,37423	13,12555	22,21424	2,8998
7	6078,758	39097,13	38875,37	527,1854	232,5914	98,6516	13,23408	22,00997	2,8963
8	5570,521	36295,17	36093,51	201,6617	219,7047	99,44438	13,40654	22,39291	2,98543
9	5522,366	35178,16	34975,46	202,7067	206,4775	99,42377	13,10725	21,71749	2,83016
10	5091,167	32392,13	32206,09	186,0476	193,6556	99,42564	13,0914	22,12036	2,87923
11	4196,503	26362,8	26227,24	135,5563	160,3533	99,4858	12,9261	22,49187	2,89237
12	3367,237	21215,51	21120,31	95,19939	138,1374	99,55128	12,96413	24,06087	3,10529
13	5038,151	31831,46	31659,71	260,8077	193,4253	99,18066	13,00017	22,47535	2,90607

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	24012,62	23893,34	249,1075	149,91	98,9626	12,91059	23,08096	2,96509
2	4366,842	30162,35	29993,19	169,1609	181,2548	99,43916	12,79098	22,23141	2,82767
3	5476,967	37299,7	37063,34	358,0294	213,7708	99,04013	12,61164	21,21799	2,65898
4	5523,71	38081,45	37853,86	227,5912	224,0401	99,40236	12,767	21,77287	2,76313
5	5834,462	40814,37	40567,75	385,4144	238,7663	99,05569	12,95444	21,65172	2,78791
6	5984,997	42439,33	42181,8	257,5387	245,5139	99,39316	13,13139	21,41171	2,79459
7	6078,758	43458,35	43184,73	612,9849	248,7128	98,58949	13,23929	21,18694	2,78734
8	5570,521	40342,3	40093,48	248,8187	235,1945	99,38323	13,41131	21,58011	2,87632
9	5522,366	39103,83	38853,7	250,1403	221,5113	99,36032	13,11295	20,97315	2,73261
10	5091,167	36007,25	35777,67	229,5893	207,0809	99,36238	13,09721	21,29258	2,77095
11	4196,503	29306,04	29138,72	167,3196	172,306	99,42906	12,9323	21,75355	2,79717
12	3367,237	23583,22	23465,7	117,5157	148,2475	99,5017	12,96987	23,24097	2,9993
13	5038,151	35384,24	35172,28	272,7676	207,1924	99,22913	13,00603	21,67073	2,80162

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	19193,03	19116,67	180,2197	145,7742	99,06101	12,89912	17,66257	2,26925
2	4366,842	24106,29	23997,99	108,2977	176,1645	99,55075	12,77848	17,00313	2,16298
3	5476,967	29808,26	29656,92	248,6801	199,0781	99,16573	12,59832	15,5483	1,94888
4	5523,71	30434,53	30288,81	145,7208	215,4679	99,5212	12,75416	16,47729	2,09148
5	5834,462	32620,47	32462,54	268,9668	226,6172	99,17547	12,94213	16,16947	2,08254
6	5984,997	33921,19	33756,24	164,9446	238,3571	99,51374	13,11968	16,35533	2,13533
7	6078,758	34739,23	34563,93	175,3026	237,4454	99,49538	13,22884	15,91205	2,09436
8	5570,521	32250,82	32091,39	159,4306	223,5977	99,50565	13,40174	16,13853	2,15215
9	5522,366	31255,82	31095,58	160,2363	211,6655	99,48734	13,10153	15,76655	2,05507
10	5091,167	28780,15	28633,09	147,0634	194,1741	99,48901	13,08555	15,70755	2,04492
11	4196,503	23422,34	23315,22	107,1278	168,3168	99,54263	12,9199	16,72142	2,15051
12	3367,237	18849,88	18774,65	75,22842	144,5659	99,60091	12,95839	17,83526	2,30194
13	5038,151	28281,83	28146,09	161,7682	198,4354	99,42802	12,99429	16,33	2,11178

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	21601,76	21505,13	213,4732	153,5295	99,01178	12,90486	16,53618	2,12443
2	4366,842	27132,86	26995,82	137,0424	185,7053	99,49492	12,78474	15,93358	2,02678
3	5476,967	33552,03	33360,54	301,001	209,4286	99,10288	12,60499	14,54081	1,82241
4	5523,71	34256,09	34071,71	184,3885	227,075	99,46174	12,76059	15,43692	1,95924
5	5834,462	36715,51	36515,69	324,737	238,6673	99,11553	12,94829	15,13906	1,94958
6	5984,997	38178,4	37969,72	208,6825	251,6093	99,4534	13,12555	15,34881	2,0036
7	6078,758	39097,13	38875,37	221,7499	250,8822	99,43282	13,23408	14,94792	1,967
8	5570,521	36295,17	36093,51	201,6617	235,4681	99,44438	13,40654	15,11083	2,01458
9	5522,366	35178,16	34975,46	202,7067	223,2795	99,42377	13,10725	14,78669	1,92696
10	5091,167	32392,13	32206,09	186,0476	204,3405	99,42564	13,0914	14,69609	1,91287
11	4196,503	26362,8	26227,24	135,5563	177,6975	99,4858	12,9261	15,69329	2,0181
12	3367,237	21215,51	21120,31	95,19939	152,2766	99,55128	12,96413	16,70007	2,1553
13	5038,151	31831,46	31659,71	201,0205	209,1633	99,36848	13,00017	15,30255	1,97862

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	3444,289	24012,62	23893,34	249,1075	160,7204	98,9626	12,91059	15,58	2,00153
2	4366,842	30162,35	29993,19	169,1609	194,5433	99,43916	12,79098	15,02377	1,91091
3	5476,967	37299,7	37063,34	358,0294	219,028	99,04013	12,61164	13,68801	1,71534
4	5523,71	38081,45	37853,86	227,5912	237,8271	99,40236	12,767	14,55247	1,84681
5	5834,462	40814,37	40567,75	385,4144	249,7574	99,05569	12,95444	14,26011	1,83615
6	5984,997	42439,33	42181,8	257,5387	263,8511	99,39316	13,13139	14,48836	1,89098
7	6078,758	43458,35	43184,73	273,6192	263,2469	99,37038	13,23929	14,11947	1,85755
8	5570,521	40342,3	40093,48	248,8187	246,5531	99,38323	13,41131	14,24368	1,89848
9	5522,366	39103,83	38853,7	250,1403	234,0153	99,36032	13,11295	13,95074	1,81765
10	5091,167	36007,25	35777,67	229,5893	213,7659	99,36238	13,09721	13,83922	1,801
11	4196,503	29306,04	29138,72	167,3196	186,3676	99,42906	12,9323	14,81444	1,90491
12	3367,237	23583,22	23465,7	117,5157	159,4256	99,5017	12,96987	15,73656	2,03084
13	5038,151	35384,24	35172,28	244,4871	219,0918	99,30905	13,00603	14,42816	1,86529

Résultats mensuels pour le site de Bouzaréah.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	34738,73	34534,5	204,2294	143,1703	99,4121	11,8621	20,89959	2,46456
2	7367,192	38121,54	37883,01	250,0352	154,192	99,34411	11,97801	20,51897	2,44239
3	7965,888	41584,42	41315,85	1001,345	162,3221	97,59202	12,08406	19,8061	2,37792
4	7601,382	41005,88	40749,52	1344,123	160,1878	96,72212	12,48734	19,81732	2,45919
5	6889,344	38728,26	38500,62	1401,627	154,3778	96,38087	13,01267	20,21414	2,61494
6	6623,995	37760,5	37544,23	1364,278	152,0534	96,38702	13,19575	20,41696	2,67874
7	6735,952	38228,06	38006,61	1369,63	153,309	96,41721	13,1371	20,33512	2,65597
8	7005,561	39376,69	39140,93	1362,863	156,1319	96,53891	13,01106	20,10938	2,60078
9	7183,285	39807,88	39560,75	1013,5	157,5034	97,45403	12,82809	20,07075	2,55871
10	7015,937	38044,68	37806,73	269,9714	153,7986	99,29038	12,55233	20,50792	2,55812
11	6589,538	35192,63	34982,64	209,9856	144,2599	99,40333	12,36269	20,78889	2,55473
12	6264,96	32433,16	32250,53	182,6246	134,3229	99,43692	11,9836	20,99672	2,50199
13	7001,84	37918,54	37689,66	831,1844	152,1357	97,80798	12,5359	20,3492	2,53556

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	39105,8	38847,39	258,4197	154,2655	99,33918	11,86961	20,01913	2,36049
2	7367,192	42912,84	42611,05	314,719	165,5801	99,26661	11,9853	19,58953	2,33135
3	7965,888	46808,59	46468,88	1164,076	173,8576	97,51311	12,0908	18,86122	2,26392
4	7601,382	46153,05	45828,82	1547,921	171,7873	96,64611	12,49314	18,8969	2,34423
5	6889,344	43582,06	43294,23	287,83	166,9876	99,33957	13,01648	19,4443	2,51425
6	6623,995	42486,59	42213,22	273,3674	163,8779	99,35658	13,19762	19,57087	2,56627
7	6735,952	43007,62	42727,77	279,8425	165,4054	99,34932	13,13742	19,51541	2,54714
8	7005,561	44300,92	44003	297,9163	167,9087	99,32751	13,01169	19,23664	2,48618
9	7183,285	44794,34	44481,93	1174,513	169,0334	97,37799	12,83109	19,15699	2,44091
10	7015,937	42819,41	42518,48	336,9577	165,1689	99,21307	12,55795	19,58343	2,44199
11	6589,538	39613,88	39348,23	265,6544	155,3759	99,32939	12,36961	19,90659	2,44586
12	6264,96	36509,73	36278,64	231,0889	145,3652	99,36705	11,99096	20,19982	2,40682
13	7001,84	42674,57	42385,14	536,0255	163,7178	98,74392	12,54067	19,47244	2,42541

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	43478,31	43159,35	318,9641	164,5309	99,26638	11,8771	19,21812	2,26581
2	7367,192	47709,82	47337,39	386,8016	176,0132	99,18926	11,99256	18,74473	2,23043
3	7965,888	52038,39	51619,22	1335,106	184,3305	97,43439	12,09751	18,00214	2,16027
4	7601,382	51304,78	50904,78	399,9998	183,946	99,22034	12,49889	18,21671	2,25914
5	6889,344	48438,46	48083,47	354,9955	179,3224	99,26712	13,02023	18,80083	2,42997
6	6623,995	47213,77	46876,71	337,0614	176,425	99,28609	13,19942	18,97323	2,48648
7	6735,952	47787,15	47442,21	344,9518	177,7163	99,27815	13,13767	18,88429	2,46305
8	7005,561	49225,36	48858,12	367,2303	180,3215	99,25398	13,01224	18,60583	2,40298
9	7183,285	49782,86	49397,64	1343,06	179,3644	97,30216	12,83403	18,30494	2,33108
10	7015,937	47598,2	47226,96	411,2739	175,5812	99,13595	12,56351	18,74245	2,33634
11	6589,538	44039,95	43712,12	327,833	165,6613	99,2556	12,37651	19,10546	2,34699
12	6264,96	40591,24	40306	285,2383	155,4209	99,29729	11,99831	19,43918	2,31598
13	7001,84	47434,02	47076,99	517,7096	174,8862	98,90857	12,54539	18,72772	2,33178

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 18.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	34738,73	34534,5	204,2294	205,2487	99,4121	11,8621	21,86389	2,57827
2	7367,192	38121,54	37883,01	250,0352	219,3632	99,34411	11,97801	21,30196	2,53559
3	7965,888	41584,42	41315,85	268,5666	235,1962	99,35416	12,08406	20,9418	2,51428
4	7601,382	41005,88	40749,52	256,3619	236,3494	99,37482	12,48734	21,33694	2,64776
5	6889,344	38728,26	38500,62	227,6439	228,823	99,4122	13,01267	21,86412	2,82838
6	6623,995	37760,5	37544,23	216,2675	225,1812	99,42727	13,19575	22,06425	2,89487
7	6735,952	38228,06	38006,61	221,45	226,9491	99,42072	13,1371	21,96694	2,8691
8	7005,561	39376,69	39140,93	235,7527	230,8614	99,40129	13,01106	21,69803	2,80624
9	7183,285	39807,88	39560,75	247,1293	228,8953	99,3792	12,82809	21,28495	2,7135
10	7015,937	38044,68	37806,73	269,9714	218,8825	99,29038	12,55233	21,29816	2,6567
11	6589,538	35192,63	34982,64	209,9856	206,8325	99,40333	12,36269	21,75036	2,72885
12	6264,96	32433,16	32250,53	182,6246	194,8373	99,43692	11,9836	22,22468	2,64832
13	7001,84	37918,54	37689,66	232,5015	221,4516	99,38684	12,5359	21,61509	2,69329

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	39105,8	38847,39	258,4197	220,9639	99,33918	11,86961	20,92472	2,46727
2	7367,192	42912,84	42611,05	314,719	236,0902	99,26661	11,9853	20,38243	2,42572
3	7965,888	46808,59	46468,88	339,7173	253,6546	99,27424	12,0908	20,08079	2,41031
4	7601,382	46153,05	45828,82	324,2299	254,9046	99,29749	12,49314	20,46158	2,53834
5	6889,344	43582,06	43294,23	287,83	246,9186	99,33957	13,01648	20,9809	2,71294
6	6623,995	42486,59	42213,22	273,3674	242,8354	99,35658	13,19762	21,16235	2,77496
7	6735,952	43007,62	42727,77	279,8425	244,9028	99,34932	13,13742	21,08549	2,75207
8	7005,561	44300,92	44003	297,9163	249,0419	99,32751	13,01169	20,82047	2,69088
9	7183,285	44794,34	44481,93	312,4002	247,0564	99,30259	12,83109	20,43209	2,60338
10	7015,937	42819,41	42518,48	336,9577	235,4539	99,21307	12,55795	20,37175	2,5403
11	6589,538	39613,88	39348,23	265,6544	222,6296	99,32939	12,36961	20,81412	2,55736
12	6264,96	36509,73	36278,64	231,0889	209,9665	99,36705	11,99096	21,29116	2,53686
13	7001,84	42674,57	42385,14	293,512	238,7015	99,31221	12,54067	20,71772	2,58052

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	43478,31	43159,35	318,9641	235,8983	99,26638	11,8771	20,10713	2,37063
2	7367,192	47709,82	47337,39	386,8016	251,6621	99,18926	11,99256	19,55752	2,32714
3	7965,888	52038,39	51619,22	419,1706	270,949	99,1945	12,09751	19,30974	2,31718
4	7601,382	51304,78	50904,78	399,9998	272,1924	99,22034	12,49889	19,6706	2,43944
5	6889,344	48438,46	48083,47	354,9955	263,7626	99,26712	13,02023	20,17984	2,60821
6	6623,995	47213,77	46876,71	337,0614	259,6779	99,28609	13,19942	20,37878	2,67068
7	6735,952	47787,15	47442,21	344,9518	261,6057	99,27815	13,13767	20,28535	2,64579
8	7005,561	49225,36	48858,12	367,2303	265,9624	99,25398	13,01224	20,02551	2,58633
9	7183,285	49782,86	49397,64	385,2162	263,9562	99,2262	12,83403	19,65739	2,50331
10	7015,937	47598,2	47226,96	411,2739	251,0843	99,13595	12,56351	19,55824	2,43804
11	6589,538	44039,95	43712,12	327,833	237,6398	99,2556	12,37651	19,99943	2,45681
12	6264,96	40591,24	40306	285,2383	224,239	99,29729	11,99831	20,46641	2,43837
13	7001,84	47434,02	47076,99	361,5614	254,8858	99,23776	12,54539	19,91761	2,47993

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV1 pour une Hm = 13.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	34738,73	34534,5	204,2294	213,1541	99,4121	11,8621	14,29637	1,68588
2	7367,192	38121,54	37883,01	250,0352	223,4036	99,34411	11,97801	13,65939	1,62589
3	7965,888	41584,42	41315,85	268,5666	244,782	99,35416	12,08406	13,72297	1,64758
4	7601,382	41005,88	40749,52	256,3619	246,7764	99,37482	12,48734	14,02705	1,74066
5	6889,344	38728,26	38500,62	227,6439	241,7889	99,4122	13,01267	14,54635	1,88174
6	6623,995	37760,5	37544,23	216,2675	239,2183	99,42727	13,19575	14,7583	1,93632
7	6735,952	38228,06	38006,61	221,45	240,4576	99,42072	13,1371	14,65429	1,914
8	7005,561	39376,69	39140,93	235,7527	243,0958	99,40129	13,01106	14,38572	1,86053
9	7183,285	39807,88	39560,75	247,1293	240,5907	99,3792	12,82809	14,08639	1,7958
10	7015,937	38044,68	37806,73	269,9714	223,0432	99,29038	12,55233	13,66486	1,70453
11	6589,538	35192,63	34982,64	209,9856	214,241	99,40333	12,36269	14,1852	1,74321
12	6264,96	32433,16	32250,53	182,6246	205,4013	99,43692	11,9836	14,75202	1,75787
13	7001,84	37918,54	37689,66	232,5015	231,3294	99,38684	12,5359	14,21655	1,77142

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV3 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	39105,8	38847,39	258,4197	224,0541	99,33918	11,86961	13,35908	1,57519
2	7367,192	42912,84	42611,05	314,719	234,6937	99,26661	11,9853	12,75747	1,51827
3	7965,888	46808,59	46468,88	339,7173	257,5413	99,27424	12,0908	12,83719	1,54086
4	7601,382	46153,05	45828,82	324,2299	259,5523	99,29749	12,49314	13,11812	1,62735
5	6889,344	43582,06	43294,23	287,83	254,3488	99,33957	13,01648	13,60771	1,75955
6	6623,995	42486,59	42213,22	273,3674	251,6668	99,35658	13,19762	13,80902	1,81074
7	6735,952	43007,62	42727,77	279,8425	252,9426	99,34932	13,13742	13,71188	1,78967
8	7005,561	44300,92	44003	297,9163	255,6866	99,32751	13,01169	13,45895	1,73946
9	7183,285	44794,34	44481,93	312,4002	253,1505	99,30259	12,83109	13,18197	1,6796
10	7015,937	42819,41	42518,48	336,9577	234,3053	99,21307	12,55795	12,76409	1,59164
11	6589,538	39613,88	39348,23	265,6544	225,1768	99,32939	12,36961	13,25513	1,62861
12	6264,96	36509,73	36278,64	231,0889	216,0073	99,36705	11,99096	13,79122	1,64323
13	7001,84	42674,57	42385,14	293,512	243,2605	99,31221	12,54067	13,29363	1,6558

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV2 pour une Hm = 8.5 m.

MOIS	EINM	EPANM	EPREN	SPM	DBEM	CUEM	RCM	RPM	RTM
1	6779,043	43478,31	43159,35	318,9641	234,1653	99,26638	11,8771	12,56704	1,48165
2	7367,192	47709,82	47337,39	386,8016	245,1677	99,18926	11,99256	11,99622	1,42742
3	7965,888	52038,39	51619,22	419,1706	269,362	99,1945	12,09751	12,08677	1,45042
4	7601,382	51304,78	50904,78	399,9998	271,4804	99,22034	12,49889	12,3528	1,53193
5	6889,344	48438,46	48083,47	354,9955	266,1551	99,26712	13,02023	12,82107	1,6571
6	6623,995	47213,77	46876,71	337,0614	263,3698	99,28609	13,19942	13,0135	1,70544
7	6735,952	47787,15	47442,21	344,9518	264,6779	99,27815	13,13767	12,92225	1,68543
8	7005,561	49225,36	48858,12	367,2303	267,522	99,25398	13,01224	12,6826	1,63798
9	7183,285	49782,86	49397,64	385,2162	264,7826	99,2262	12,83403	12,41562	1,5811
10	7015,937	47598,2	47226,96	411,2739	244,7511	99,13595	12,56351	12,00384	1,49634
11	6589,538	44039,95	43712,12	327,833	235,3203	99,2556	12,37651	12,46932	1,53178
12	6264,96	40591,24	40306	285,2383	225,844	99,29729	11,99831	12,97849	1,54626
13	7001,84	47434,02	47076,99	361,5614	254,3832	99,23776	12,54539	12,51599	1,55836

Résultats mensuels pour le site d'Adrar.
La configuration GENPV1 pour une $H_m = 8.5$ m.

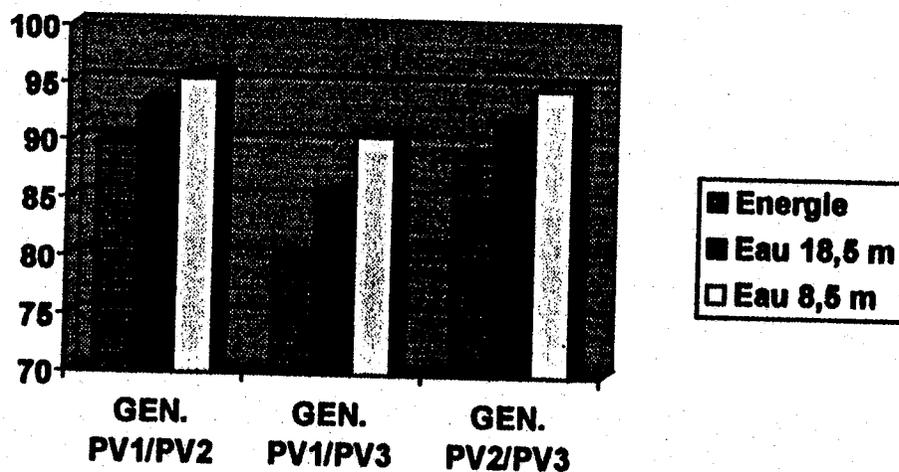


Figure 1 : Gains énergétiques et hydrauliques pour le site de Bouzeréah

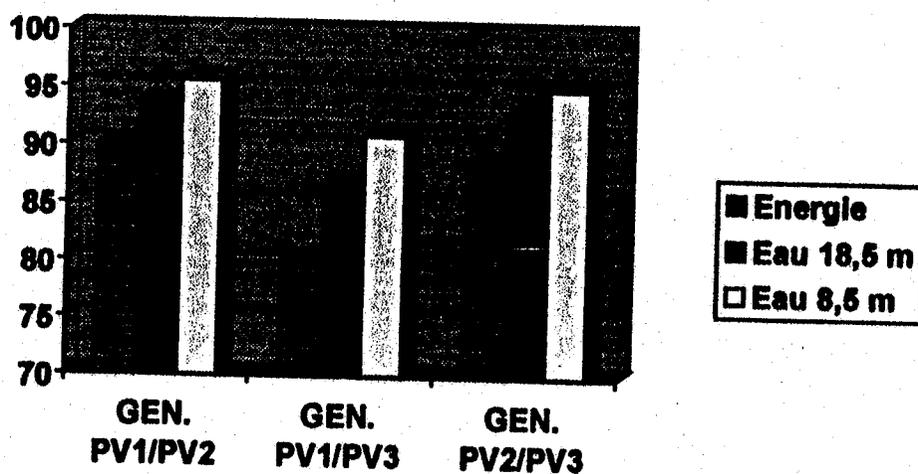


Figure 2 : Gains énergétiques et hydrauliques pour le site de Adrar

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. AVROUS, "*Physique des Semiconducteurs par la conversion photovoltaïque*", IV^{ème} séminaire sur l'énergie solaire, triestre (Italie), 10-21 Sept. 1984.
- [2] A. BENATIALLAH, "*Etude expérimentale de simulation des performances d'une installation photovoltaïque de faible puissance*", Thèse de magister 1994.
- [3] C. BOISINIVEAU, M. NOUGARET et J. PERARD, "*Optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque : Asservissement extrémal de la puissance*", Revue Phys. Appl. 17 (1982) pp 329-336.
- [4] M.T. BOUKADDOUM et A. HAMIDAT, "*Experimental study of solar pumping*", second world renewable energy congress, reading united kingdom, 13-18 Sept. 1992.
- [5] Mathew BURESCH, "*Photovoltaic energys systems*". Mac HILL, book company, New York, 1980.
- [6] D. CAMPANA, "*Contribution à l'étude de technologies solaires destinées à l'amélioration en eau des sites isolés*", thèse de 3^{ème} cycle, Lyon, 25 Jan. 1980.
- [7] M. CAPDERON, "*Atlas solaire de l'algérie*", ASA Tome 2, p 131, 1985.
- [8] B. CHABOT, "*Les systèmes PV (présentation, conception, caractéristiques applications)*", Actes de l'atelier, Bamako 18-29 Nov. 1991.
- [9] B. CHABOT, "*Le pompage photovoltaïque*", AFME-STN, 1987.
- [10] V. DELTORO, "*Electronical devices for energy conversion and control systems*" Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1968.
- [11] B. GUERRIER, E. BOILEAU et C. BERNARD, "*Analyse statique temporelle de l'irradiation solaire quotidienne : Modélisation d'une variable réduite à l'aide de modèles stockastiques ARMA*", Revue physique appliquée, 1980.

- [12] A. HAMIDAT, "Etude et simulation des performances réelles sur une longue période des systèmes de pompage P.V au fil du soleil" Thèse de magister, Déc. 89.
- [13] A. HAMIDAT, "PV pump system", photovoltaic laboratory CDER, Bouzaréah 1992.
- [14] A. HAMIDAT, et M.T. BOUKADDOUM, "Simulation of a photovoltaic water pumping system performance" Second World renewable energy congress, 13-18 Sept. 1992, reading, United Kingdom.
- [15] A. HAMIDAT, "Small-stand alone PV water pumping for irrigation", Firts internationnal thermal energy congress, 6-10 June 1993, Marrakech, Marroco.
- [16] A. HAMIDAT, "Expérimentation et simulation des systèmes de pompage PV", laboratoire photovoltaïque, CDER Bouzeréah, Déc. 1993.
- [17] A. HAMIDAT, "Simulation of the performance and cost calculation of the surface pump" CDER SIPEY Bechar / 10-12 Nov. 98
- [18] Y.R. HSIAO et B.A. BLERSINS, "Direct coupling of a photoltaic power source to water pumping system", Solar energy vol. 32, n°04, 489-498, 1984.
- [19] R.E. KATAN, V.G. AGELIDIS et C.V. NAYAR, "Performance analysis of a solar water pumping system", SESI Journal, Solar energy society of India 1993.
- [20] S. KEITA, "Mise en valeur des ressources énergétiques en Afrique", L'énergie solaire, actes de l'atelier, Bamako, 18-29 Nov. 1991.
- [21] K KHOUZAM et L. KOUZAM, "Optimum matching of direct-coupled electronical loads to a photovoltaic generator", IEEE Transsactions on energy conversion, vol 8, n° 3, Sept. 1993.
- [22] A. LAUGIER, J.A. ROGER, "Les photopiles solaires", techniques et documentation.
- [23] S. LAZARKIEWICZ, "Impeller pumps", Pergamon Press Ltd, London 1965.