

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
Faculté Des Sciences de L'ingénieur
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE MAGISTER

en Génie mécanique

Option : Energétique

ETUDE ET ANALYSE D'UN HABITAT
SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Par

Omar KEBOUR

Devant le jury composé de :

N. AIT MESSAOUDENE	Professeur, Université, Blida.	Président
Y. BENKHEDDA	Maître de conférences, Université, Blida.	Examineur
M. BENGHANEM	Maître de conférences, USTHB	Examineur
A. HADJ ARAB	Maître de recherche, CDER.	Rapporteur
A. HAMIDAT	Chargé de recherche, CDER.	Co-Rapporteur

Blida, juin 2004



DEDICACES

Je dédie ce travail

A mon père TAHAR et ma mère *KHEIRA*, source de courage et d'affection.

A mes frères et sœurs et mon beau frère Lotfi.

A mon épouse Amel que je remercie pour son soutien et sa patience.

A mon adorable fils Billel Amine.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements aux termes de respects et de reconnaissance à mon promoteur Dr. A HADJ ARAB Maître de recherche au CDER, de m'avoir guidé et orienté durant la réalisation de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon co-promoteur Mr A HAMIDAT chargé de recherche au CDER d'avoir accepté de me diriger et d'orienter pour terminer les travaux de mon mémoire.

J'adresse ma profonde gratitude au Dr N. AIT MESSAOUDENE Professeur à l'université de BLIDA, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.

Mes profonds remerciements sont adressés au Dr Y. BENKHEDA maître de conférence à l'université de BLIDA pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.

J'exprime mes remerciement au Dr M. BENGHANEM Maître de conférence a USTHB, pour l'honneur qu'il ma fait en acceptant d'examiner ce travail.

Je remercie également le corps administratif et pédagogique de l'institut de mécanique, ainsi que tous ceux qui ont contribués de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

RESUME

Dans ce mémoire, nous avons effectué des analyses théorique et pratique de différents composants des systèmes photovoltaïques. Ainsi, les modèles les plus récents sur le calcul de l'irradiation solaire sont présentés et validés en utilisant les données mesurées des villes d'Alger et d'Oran. Egalement, les modèles les plus utilisés pour la simulation du générateur photovoltaïque sont présentés et validés à l'aide des données mesurées sur la caractéristique I - V des modules photovoltaïques. Cette analyse des systèmes photovoltaïque, nous a permis d'aborder les différentes phases de la conception et du dimensionnement de l'habitat électro-solaire. Nous avons aussi réalisé le convertisseur CC/AC et installé le système photovoltaïque pour l'alimentation en énergie solaire photovoltaïque l'habitation électro-solaire. Enfin, l'aspect économique de l'installation solaire a été réalisé.

ABSTRACT

In this thesis we have studied the theoretical and practical analysis of different components of the photovoltaic systems. Thus, the most recent models on the solar radiation have been considered and validated using the recorded data concerning the cities of Algiers and Oran. Also we have matched the results giving by the most models used for the simulation of the I-V characteristics of the photovoltaic generator. This photovoltaic systems analysis allowed us to treat the different steps for the design of the electrical solar house. We also have designed a DC/AC inverter and installed the photovoltaic system to supply the electrical solar house by the photovoltaic energy. At last, an economical aspect for the solar installation is provided.

ملخص

في هذه المذكرة أنجزنا تحليلات نظرية وتطبيقية لمختلف مركبات النظام الكهروضوئي وأحدث النماذج لحساب الإشعاع الشمسي مثبتة باستعمال المعطيات المقاسة على مستوى كل من مدينتي الجزائر العاصمة وهران .

كذلك النماذج الأكثر استعمالا التي توافق المولد الكهروضوئي ممثلة ومثبتة عن طريق المعطيات المقاسة، بخصوصيات التيار والتوتر للمقياس الكهروضوئي وتحليل هذه الأنظمة الكهروضوئية مكننا من الشروع في تصميم وتحديد الأبعاد لسكن كهروضوئي وأنجزنا أيضا محول تيار متواصل / مقطع CC/AC و وضعنا النظام الكهروضوئي حيز التطبيق لتزويد بالطاقة الشمسية وتناولنا في آخر المذكرة دراسة للجانب الإقتصادي.

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

A_m	Superficie du module	$[m^2]$
A_c	Surface de cellule	$[m^2]$
A_G	Surface du générateur	$[m^2]$
$Bod(0)$	Irradiation extraterrestre incidente journ sur un plan horizontal	$[Wh/m^2]$
$B(\beta)$	Eclairement direct sur une superficie inclinée	$[W/m^2]$
$Bh(0)$	Irradiation directe horaire sur une surface horizontale	$[Wh/m^2]$
B_0	Constante solaire (1367 w/m^2)	$[W/m^2]$
C_i	ième valeur calculée de la capacité	$[Ah]$
C_{10}	Capacité en 10 heures	$[Ah]$
C_s	Capacité du système de stockage	$[Ah]$
$Dd(0)$	composante diffuse d'Irradiation horizontale journalière	$[Wh/m^2]$
$Dh(0)$	composante diffuse d'Irradiation horizontale horaire	$[Wh/m^2]$
$D(\beta)$	Eclairement diffus sur une superficie inclinée	$[W/m^2]$
dn	Le numéro d'ordre du jour de l'année.	
D	Diamètre du câble	$[mm]$
$Bd(0)$	Irradiation direct horizontale journalière	$[Wh/m^2]$
$Boh(0)$	Eclairement extraterrestre horizontale	$[W/m^2]$
E_{ecj}	Energie journalière reçue à l'entrée du convertisseur	$[Wh/j]$
E_{scj}	Energie journalière reçue à la sortie du convertisseur	$[Wh/j]$
E_{sch}	Energie journalière stockée	$[Wh/j]$
$E_{sdéc}$	Energie journalière restituée par les batteries	$[Wh/j]$
e	Charge de l'électron	$[Coulomb]$
E_{ISC}	Erreur du courant de court circuit	$[\%]$
e_m	Epaisseur du module	$[cm]$
E_{pg}	Energie produite par le générateur	$[Wh/j]$
E_{cj}	Consommation totale journalière	$[Wh/j]$
E_{pm}	Energie produite par les modules	$[Wh/j]$

Es	Erreur standard	[%]
E _{VOC}	Erreur de tension a circuit ouvert	[%]
EG(β)	Irradiation journalière reçue sur la surface du générateur	[Wh/m ²]
F	Fréquence	[Hz]
FF	Facteur de forme	
Fr	Facteur de remplissage	
Fcs	Facteur de correction	
Gd(0)	Irradiation globale horizontale journalière	[Wh/m ²]
Gh(0)	Irradiation globale horizontale horaire	[Wh/m ²]
G(β ,ti)	Eclairement globale incident sur une superficie inclinée	[W/m ²]
G(ti)	Puissance produite par le générateur PV	[W]
I _L	Courant traversant le transistor	[A]
I _d	Courant traversant la diode(jonction)	[A]
I _{sh}	Courant dérivé par la résistance shunte	[A]
I	Courant total traversant le module	[A]
I _o	Courant de saturation	[A]
I _{sc}	Courant de court circuit	[A]
I _{cal}	Courant calculé	[A]
I _{exp}	Courant mesuré	[A]
I ₂	Intensité d'un point de la courbe corrigée	[A]
I ₁	Intensité d'un point de la courbe de référence	[A]
I _B	Intensité à la base du transistor	[A]
I _C	Intensité au collecteur du transistor	[A]
I _{zmax}	Intensité maximale d'impédance du système	[A]
I _m	Intensité au point de puissance optimale	[A]
I _{max}	Intensité maximale traversant le câble	[A]
K _d	La fraction diffuse.	
K _t	Indice de clarté de l'atmosphère	
K	Constante de BOLTZMAN	[J/°K]
L _m	Longueur du module	[cm]
l _m	Largeur du module	[cm]
m	Facteur d'idéalité	
N	Nombre de mesure	
N _m	Nombre de module	

Nms	Nombre de module en série	
Nbp	Nombre de branche parallèle	
TONC	Température d'opération nominale de la cellule	[°C]
P	Résistance ajustable.	[Ω]
Pc	Puissance crête	[Wc]
Pnc	Puissance nominale du convertisseur	[W]
PG1	Puissance fournie par le générateur	[W]
Pec	Puissance à l'entrée du convertisseur	[W]
Psc	Puissance à la sortie du convertisseur	[W]
RECM	Racine de l'erreur quadratique moyenne	[%]
R(β)	Eclairement réfléchi sur une superficie inclinée	[W/m ²]
Rs	Résistance en série	[Ω]
Rsh	Résistance shunte en parallèle	[Ω]
Rso	Résistance série de saturation	[Ω]
Rsho	Résistance shunte de saturation	[Ω]
T1	Température dans les conditions de mesure	[°C]
T2	Température dans les conditions désirée	[°C]
T _C	Température de cellule	[°C]
Ta	Température ambiante	[°C]
TONC	Température d'opération nominale de la cellule	[°C]
Vt	Tension de travail	[V]
Vm	Tension maximale	[V]
Voc	Tension circuit ouvert	[V]
V _{BE}	Tension entre la base et l'émetteur	[V]
V _{Ri}	Tension à la borne de la résistance	[V]
Vr	Tension à la borne de la résistance	[V]
β	Angle d'inclinaison du générateur photovoltaïque	[°]
γ _t	Coefficient de variation du rendement en fonction de température de cellule	[%/°C]
∅	Latitude	[°]
θs	Angle d'incidence	[rd]
θzs	Angle zenith du soleil	[rd]
ηc	Rendement du convertisseur	[%]

η_b	Rendement de la batterie	[%]
η_m	Rendement du module	[%]
η_{mc}	Rendement moyen du convertisseur	[%]
η_r	Rendement du régulateur	[%]
η_{G0}	Rendement du générateur sous les conditions standard	[%]
η_{Gm}	Rendement moyen du générateur	[%]
ρ	Réflexibilité du sol.	
∇V_{max}	Variation de la tension maximale	[V]
ω	Angle horaire	[rd]
ω_s	Angle de couché de soleil	[rd]

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES

Figure 1.1	Schéma synoptique d'un système PV autonome	4
Figure 1.2	Association serie-parallèle des modules en générateur PV	5
Figure 2.1	Schéma équivalent d'un module PV.	16
Figure 2.2.	Courbes I-V mesurées et calculées en appliquant le modèle analytique	19
Figure 3.1	Les différentes fonctions d'un convertisseur 220 V	26
Figure 3.2 (a)	Différents types de montage en pont à sortie sur les émetteurs	27
Figure 3.2 (b)	Différents types de montage en pont à sortie sur les collecteurs	28
Figure 3.3	Etage de puissance du convertisseur réalisé	28
Figure 3.4	Schéma complet du principe du convertisseur	29
Figure 3.5	Schéma de l'oscillateur	30
Figure 3-6	Alimentation des étages du convertisseur 220 V	31
Figure 3.7	photo du circuit imprimé utilisé.	33
Figure 4.1	Banc d'essai de l'installation photovoltaïque	36
Figure 4.3	Evolution de l'éclairement en fonction du temps	48
Figure 4.4(a)	Evolution des puissances pour le 1 ^{er} générateur avec l'éclairement	50
Figure 4.4(b)	Evolution des puissances pour le 2 ^{eme} générateur avec l'éclairement	51
Figure 4.4(c)	Evolution des puissances pour le 3 ^{eme} générateur avec l'éclairement	52
Figure 4.4 (d)	Evolution de la puissance totale mesurée avec le temps et l'éclairement	
Figure 4.5	Variation de la tension aux bornes du système de stockage	54
Figure 4.6	Variation du rendement du système avec de la température des cellules	
Figure 4.7 (a)	Evolution du temps de charge du système de stockage	59
Figure 4.7 (b)	Evolution du temps de décharge du système de stockage	60
Figure 4.8 (a)	Evolution de la puissance à l'entrée du convertisseur	63

Figure 4.8 (b)	Evolution de la puissance à la sortie du convertisseur	64
Figure 4.9	Variation du rendement du convertisseur avec la puissance d'utilisation	65
Figure 5.1	La distribution des coûts de l'installation photovoltaïque	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1.	Exemple d'application (module BP saturne)	20
Tableau 2.2.	Translation selon la norme CEI – 891	21
Tableau 4.1	Le profil de consommation journalière adopté.	40
Tableau 4.2	Les irradiations journalières reçues sur le plan des générateurs solaires	49
Tableau 4.3	Les énergies journalière produites par le générateur PV	55
Tableau 4.4	les rendements instantanés	56
Tableau 4.5	Les rendements moyens journaliers du générateur PV	57
Tableau 4.6	Variation du rendement en fonction de la température des cellules	57
Tableau 4.7	L'énergie journalières et de capacité stockées et restituées	61
Tableau 4.8	Variation du rendement de l'onduleur avec le pourcentage de charge	65
Tableau 4.9	Bilan énergétique autour du convertisseur	66
Tableau 4.10	Valeurs de la tension et d'intensité qui parcourt les câbles	67
Tableau 4.11	Le bilan énergétique global de l'installation PV.	68
Tableau 4.12	Le rendement global de l'installation PV	68
Tableau 5.1	Générateur photovoltaïque et accessoires	71
Tableau 5.2	Stockage électrochimique et accessoires	71
Tableau 5.3	Equipement électronique de régulation et de conversion CC/AC	71
Tableau 5.4	Equipements supplémentaires pour l'habitation	72
Tableau 5.5	Coût total et distribution des coûts de l'installation photovoltaïque	73

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1-INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES.....	3
1.1 Composition du système photovoltaïque.....	3
CHAPITRE 2 -MODELISATION DU SYSTEME	
PHOTOVOLTAÏQUE.....	11
2.1 Irradiation solaire.....	11
2.2 Modèle du générateur photovoltaïque.....	15
CHAPITRE 3 -ETUDE ET REALISATION DE L'ONDULEUR.....	23
3.1 Introduction.....	23
3.2 Etude théorique.....	23
3.3 Calcul des différents composant du système PV.....	32
3.4 La réalisation du convertisseur.....	33
3.5 Conclusion.....	34

CHAPITRE 4 -EXPERIMENTATION DE L’HABITAT SOLAIRE....	36
4.1 Introduction.....	36
4.2 Réalisation de la maison électro –solaire.....	37
4.3 Dimensionnement.....	40
4.4 Association des modules.....	42
4.5 Dimensionnement du système de stockage.....	44
4.6 Installation du système photovoltaïque.....	46
4.7 Système d’acquisition des données.....	47
4.8 Analyse et commentaire des résultats.....	48
4.9 Conclusion.....	70
CHAPITRE 5-ETUDE ECONOMIQUE	71
5.1 Introduction	71
5.2 Calcul du coût de revient de l’installation considérée	71
5.3 Discussion et impacts économiques	73
CONCLUSION.....	78
BIBLIOGRAPHIE.....	80
ANNEXE.....	83

INTRODUCTION

L'énergie est un paramètre essentiel dans le développement et de croissance économique dans les pays. La grande partie de l'énergie consommée dans le monde provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...etc), dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement, cette menace est manifesté principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. En effet, la grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution en essayant d'adapter les sources d'énergie classiques à des critères très sévères.

Au delà de 2020, les ressources fossiles de l'Algérie et particulièrement le gaz naturel ne seront plus qu'au marché intérieure, à défaut d'exporté de l'énergie primaire, nous serons obligés d'importer de l'électricité à travers l'interconnexion .

Malgré le taux d'électrification très élevé de l'Algérie, 96 %, il existe toujours des foyers épars qui leurs électrifications par l'extension du réseau conventionnel sera très coûteuse. Ainsi, les besoins énergétiques croissants du pays et les foyers épars ont incité notre pays de recourir à l'énergie solaire photovoltaïque. En plus, cette dernière est une énergie renouvelable, propre et disponible contrairement aux sources conventionnelles.

L'énergie solaire photovoltaïque est la conversion énergétique de la lumière en énergie électrique grâce à des cellules appelées « cellules photovoltaïques ». La conversion instantanée de l'énergie des photons en énergie électrique, grâce à l'effet photovoltaïque, permet d'apporter de réelles solutions pour les petites applications (telles que l'électrification domestique) ainsi que pour les grandes applications, telles que les centrales électrique autonomes ou centrales connectées au réseau électrique.

Actuellement les applications les plus installées sont l'éclairage public et domestique, le pompage de l'eau, le balisage maritime et terrestre, les relais de la télécommunication etc.

L'électrification des habitations à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque ne connue pas encore le grand essor, surtout par le secteur privé, malgré l'effort établi par l'état et l'adoption en 1995 du programme d'Electrification Rurale du Sud. Ce programme

est piloté par la Société Nationale d'Electricité et du Gaz (Sonelgaz) et ses objectifs sont d'alimenter en électricité solaire photovoltaïque 216 000 maisons rurales dans 4000 localités.

Le principal objectif de ce mémoire est d'apporter une contribution dans le domaine de l'électrification solaire des habitations avec la réalisation du convertisseur DC/AC, qui représente l'élément de base dans l'installation, et l'expérimentation d'une habitation de moyenne commodité en énergie dans la région de BLIDA.

Le premier chapitre donne une description succincte des systèmes photovoltaïques et ses différentes composantes. Le chapitre 2 est consacré à la modélisation des systèmes photovoltaïques en comparant les données mesurées et calculées par les différents modèles. Ainsi pour les modèles de l'irradiation solaire, la comparaison expérimentale a été faite en utilisant des données de la localité d'Oran obtenues au niveau de l'Office National de la Météorologie (ONM). Egalement, le modèle du générateur photovoltaïque a été validé pour différentes conditions d'éclairement et de température du module. Le principe de fonctionnement, la description des différents composants et la réalisation de l'onduleur sont illustrés dans le chapitre 3. La description des éléments de l'installation photovoltaïque, qui alimente la maison solaire, ainsi que l'analyse des résultats expérimentaux sont présentés dans le chapitre 4. Le chapitre 5 est consacré à l'étude économique de ce système photovoltaïque. Et bien sur ce mémoire est achevé par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Le but d'un système photovoltaïque est d'utiliser la conversion directe de l'énergie solaire (énergie des photons) pour subvenir les besoins en énergie électrique de l'utilisation (charge). Cette conversion directe de l'énergie est possible grâce à l'effet photovoltaïque des matériaux semi-conducteurs qui constituent le générateur photovoltaïque. Le matériau le plus utilisé est le silicium monocristallin.

Les systèmes photovoltaïques sont mis en forme pour assurer cette conversion avec une meilleure adaptation de l'énergie électrique produite aux besoins de l'utilisation.

1.1 Composition du système photovoltaïque

Pour accomplir ses fonctions, un système photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants [1]:

- ◆ Un système d'orientation ou de suivi du soleil .
- ◆ Une gestion électronique (mise en forme du courant, transfert de l'énergie) par un régulateur.
- ◆ Un système de stockage .
- ◆ Un convertisseur DC/AC.
- ◆ Une charge en courant continu, basse tension BT, ou alternatif standard.

La figure 1.1 représente la disposition de ces diverses composantes dans un système photovoltaïque, autonome.

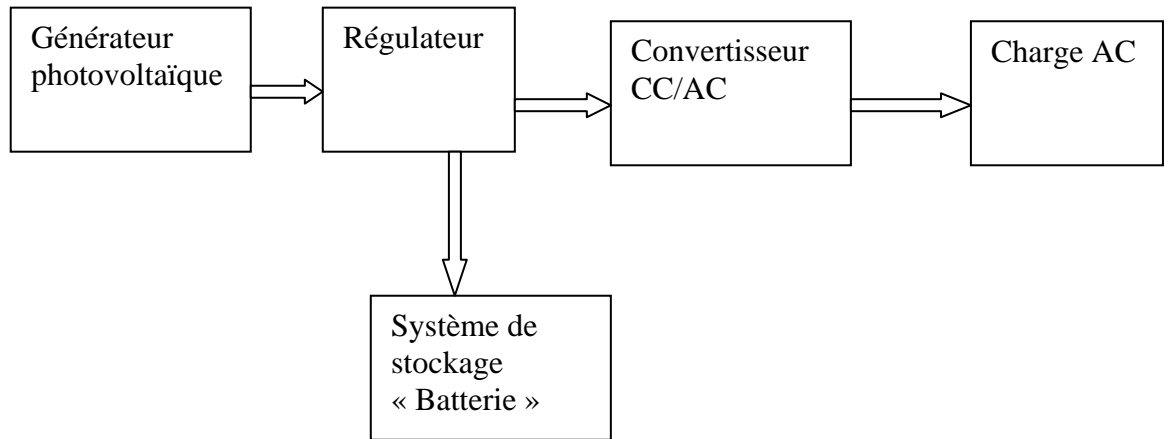


Figure 1.1 Schéma synoptique d'un système PV autonome

1.1.1 Le générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïque (PV) connectés en série-parallèle et placés sur un support (structure), de sorte qu'il produit une énergie nécessaire aux besoins spécifiques.

De même, les modules sont formés à partir d'un assemblage en série d'un certain nombre de cellules PV encapsulées dans une même structure.

Le rôle de l'encapsulation [2] est d'une part, la protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, poussière, etc.) et leur maintien dans une structure rigide, d'autre part, le contrôle de la température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers l'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformé en énergie électrique .

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique.

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.

plusieurs techniques d'encapsulation ont été utilisées durant la dernière décennie, il est facile de concevoir que la qualité de cette encapsulation déterminera directement la durée de vie des modules photovoltaïques [2].

Il est recommandé de mettre des diodes anti-retour équivalentes à la sortie de chaque générateur pour éviter d'éventuels déséquilibres dans les groupements de cellules et de modules et surtout de supporter et de bloquer le courant débité par une décharge des batteries dans le générateur durant les périodes non ensoleillées.

La figure 1.2 montre un exemple d'une association série - parallèle des modules en générateur photovoltaïque .

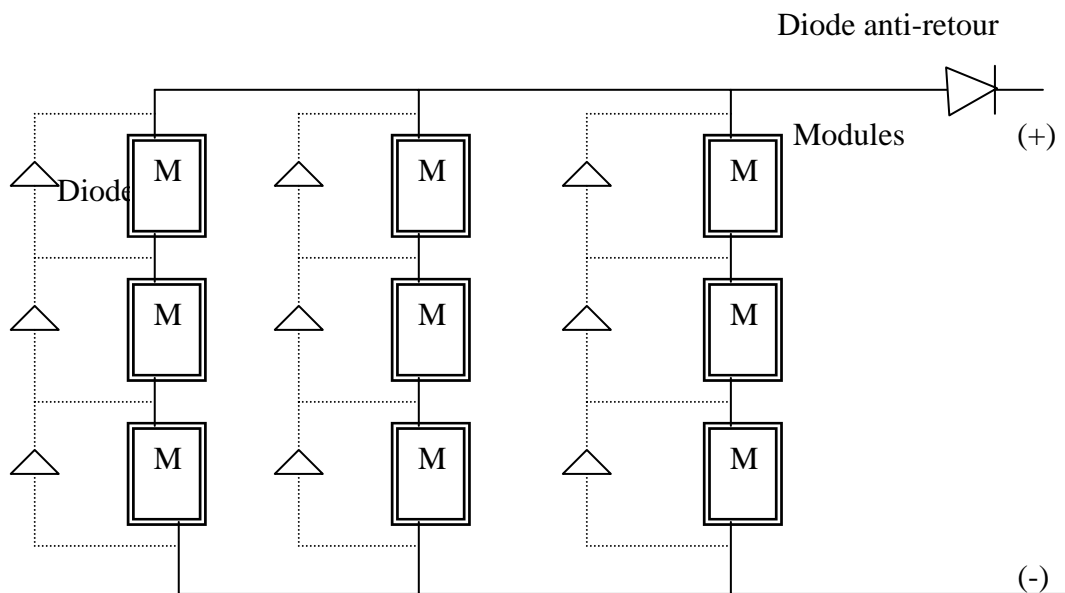


Figure 1.2 Association serie-parallèle des modules en générateur PV

1.1.2 Règles d'installation des générateurs PV.

Un certain nombre de règles et de recommandations concernant les installations de générateurs photovoltaïques sont nécessaires :

- ◆ Les modules doivent être installés à une hauteur suffisante pour ne pas être atteints par les animaux, tout en restant accessible pour un nettoyage régulier.

- ◆ Les cadres et structures en Aluminium ou Acier galvanisé ne doivent pas être percés ou retravaillés sur le site. car l'endommagement des couches protectrices est une voie ouverte à la corrosion.
- ◆ Il faut tenir compte des dilatations différentielles induites pour les grandes variations de température.
- ◆ Les occultations parasites et partielle du générateur PV (arbre, immeuble ...etc.). doivent être évitées .
- ◆ Il faut protéger chaque sous station contre la foudre a l'aide de parafoudre.

1.1.3 Stockage de l'énergie.

Les fluctuations journalières et saisonnières de l'ensoleillement et l'utilisation souvent intermittente de l'énergie électrique développée par un système photovoltaïque, nous obligent de prévoir un système de stockage (batteries), jouant ainsi le rôle tampon entre la production et la consommation d'énergie.

Un tel système doit permettre :

- De distribuer l'énergie suivant les besoins de fonctionnement de la charge à alimenter.
- De mieux adapter le générateur à la charge par le maintien de la tension du système dans la zone de fonctionnement optimal.

Pour une utilisation optimale les batteries de stockage [3,4], devront répondre aux critères suivants:

- ◆ Coût raisonnable par rapport à la capacité.
- ◆ Fiabilité et durée de vie acceptable devant les conditions cycliques de charge et de décharge.
- ◆ Haute densité de charge.
- ◆ Haute efficacité de charge.
- ◆ Un taux d' auto-décharge faible.
- ◆ Habilité à supporter la différence de température élevée.
- ◆ Long intervalle entre les périodes de maintenances.
- ◆ Sécurité dans la manutention .
- ◆ Un minimum impact sur l'environnement.
- ◆ Une rigidité contre la corrosion et les chocs.

- ◆ Une résistance interne négligeable.
- ◆ Un bac de surface admissible (réserve d'électrolyte).

Ce rôle de stockage appartient à la batterie d'accumulateur. Alors, un système de stockage n'est autre qu'un ensemble de batteries associées en série- parallèle. Autrement dit, ce système est dimensionné en fonction de l'autonomie désirée (le nombre de jours sans ensoleillement, pendant lequel l'utilisation électrique sans pour autant décharger profondément les batteries).

Les principaux types d'accumulateurs utilisables actuellement sont[5]:

-Accumulateurs au Plomb (Pb).

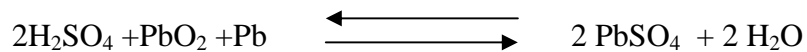
-Accumulateurs au Cadmium-Nickel (CD-Ni).

Notre étude portera uniquement sur les accumulateurs au plomb

1.1.3.1 Principe de fonctionnement d'une batterie.

-Accumulateurs au Plomb (Pb).

Leur principe de fonctionnement repose sur une transformation réversible de l'énergie électrique en énergie chimique selon la réaction suivante[3]:



avec

PbO_2 :Bioxyde de plomb.

H_2SO_4 :Acide sulfurique.

PbSO_4 :Sulfate de plomb.

1.1.3.2 La capacité d'une batterie.

C'est le paramètre essentiel auquel se rapporte le dimensionnement d'un système de stockage.

La capacité C_n renseigne théoriquement sur la quantité d'Ampère- heures (Ah) que la batterie peut délivrer durant un intervalle de temps de n heures pour un courant, une tension de décharge et une température bien définis.

Dans la pratique, divers facteurs influent sur la valeur de la vitesse des réactions chimiques et électrochimique, citons entre autre:

-Variation de la résistance interne (dépend de la matière active des plaques et de la concentration de l'électrolyte) avec l'état de charge, et en particulier le régime de décharge.

-Mauvais déroulement de certains phénomènes (diffusion ,concentration) causés par une mauvaise manipulation et/ou de certains défauts de fabrication.

-Température ambiante, Pression, Temps.

1.1.4 Le système de régulation.

Un régulateur est un dispositif électronique qui assure:

- ◆ La protection des batteries contre les décharges excessives et les surcharges
- ◆ L'optimisation du système du point de vue énergétique, vu qu'il constitue un nœud de transfert d'énergie entre le générateur, le stockage et l'utilisation .

Pour fonctionner, un régulateur a besoin d'un indicateur qui l'informe sur l'état de charge des batteries.

Actuellement, la tension aux bornes du système de stockage est la plus adoptée au détriment des autres indicateurs (compteur électrique, densité de l'électrolyte).

Le régulateur doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils: un seuil haut et un seuil bas [3].

Pour éviter tout phénomène de battement de la régulation, ces deux seuils sont doublés de seuils de démarrage qui peuvent être ou non confondus.

Le choix de ces deux seuils dépend des caractéristiques des batteries, et des conditions d'utilisation .

1.1.5 Convertisseur Continu/Alternatif

Comme son nom l'indique, c'est une interface dont le principe consiste à produire un signal alternatif à partir d'un signal continu.

Dans les usages photovoltaïque, ces convertisseurs sont interposés en amont de la charge à alimenter en alternative, ils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal avec une fréquence précise.

Ces appareils appelés onduleurs, présentent généralement deux inconvénients majeurs:

- Rendement médiocre pour les faibles et moyennes puissances
- Consommation à vide importante.

Les principales caractéristiques qui doivent être prises en compte lors du choix d'un convertisseur CC/AC sont les suivantes :puissance nominale, consommation à vide, charge et le rendement.

Puissance nominale

Elle correspond à la puissance optimale (Volts-Ampère) que peut fournir un convertisseur en régime permanent.

Le choix de celle-ci est fonction de la puissance maximale que l'utilisateur peut consommer, tout en tenant compte des surcharges imposées lors du démarrage des moteurs, s'ils existent.

Rendement

C'est la caractéristique la plus importante qu'il convient de respecter durant la conception d'un système photovoltaïque, vue qu'elle intervient directement sur le dimensionnement du générateur et du stockage. En effet, un convertisseur de faible rendement correspond à un sur-dimensionnement de l'installation photovoltaïque [4]

Consommation à vide

C'est la consommation propre du convertisseur en énergie. Il importe de la réduire au maximum.

1.1.6 Charge

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque (éclairage- pompage-production de froid, etc.....)[4].

Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïques, il importe de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser

- charge continue.
- charge alternative.

CHAPITRE 2

MODELISATION DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

2.1 Irradiation solaire

2.1.1 Introduction

En général, le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour un site donné nécessite la connaissance de l'irradiation solaire de ce dernier.

En suivant les méthodes de simulation actuellement utilisées, il est nécessaire de disposer de larges séquences de valeurs d'irradiation journalière. Malheureusement, beaucoup de localités d'Algérie ne disposent pas de ces données d'irradiation, ou ne sont pas suffisamment représentatives. Les modèles d'estimation des différentes composantes de l'irradiation solaire ont été vérifiés expérimentalement en utilisant des données d'Oran mesurées au niveau de l'Office National de la Météorologie.

2.1.2 Estimation des composantes directe et diffuse de l'irradiation horizontale à partir des valeurs d'irradiation globale

La détermination des composantes directe et diffuse de l'irradiation horizontale est nécessaire par le calcul de l'irradiation sur une superficie inclinée.

La composante diffuse de l'irradiation horizontale journalière $D_d(0)$ s'obtient à partir de la corrélation existante entre la fraction diffuse, K_d et l'indice de clarté de l'atmosphère, K_t . La fraction diffuse K_d est définie comme [6, 7] :

$$K_d = \frac{D_d(0)}{G_d(0)} \quad (2.1)$$

et l'indice de clarté de l'atmosphère K_t comme :

$$K_t = \frac{G_d(0)}{B_{od}(0)} \quad (2.2)$$

Où $B_{od}(0)$ est l'irradiation extraterrestre journalière incidente sur un plan horizontal et $G_d(0)$ est l'irradiation globale horizontale journalière.

L'irradiation directe horizontale journalière $B_d(0)$ est donnée par :

$$B_d(0) = G_d(0) - D_d(0) \quad (2.3)$$

2.1.2.1 Modèle de Frutos

La corrélation entre les valeurs individuelles de l'irradiation journalière horizontale, $G_d(0)$, et sa composante diffuse, $D_d(0)$ est [8] :

- pour l'intervalle $K_t < 0,166$

$$K_d = 0,92 \quad (2.4)$$

- pour l'intervalle $0,166 \leq K_t \leq 0,8$

$$K_d = 0,77 + 1,93K_t - 6,86K_t^2 + 4,27K_t^3 \quad (2.5)$$

- pour l'intervalle $K_t > 0,8$

$$K_d = 0,109 \quad (2.6)$$

2.1.2.2 Erreurs d'estimation

La comparaison entre les données mesurées et calculées par le modèle de Frutos se fait en utilisant un indicateur statistique, appelé racine de l'erreur quadratique moyenne, RECM, défini comme :

$$RECM = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (C_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N M_i^2} \right]^{0,5} \times 100 \quad (2.7)$$

Où C_i est la i -ème valeur calculée, M_i est la i -ème valeur mesurée et N le nombre de points.

La racine de l'erreur quadratique moyenne, RECM, est une mesure de la variation des valeurs mesurées, au voisinage de la valeur calculée.

La valeur RECM pour le modèle de Frutos en utilisant des données journalières pour Alger (données d'irradiation globale horizontale pour la période 1997-1999, mesurées à l'O.N.M) est 8%.

2.1.3 Estimation de l'irradiation horaire à partir des valeurs de l'irradiation journalière

Dans certaines applications il n'est pas suffisant de connaître les valeurs journalières de l'irradiation directe et diffuse mais il faut connaître son évolution horaire. Quand elles ne sont pas disponibles, les données d'irradiation horaire peuvent être obtenues en utilisant les expressions de Liu et Jordan qui mettent en relation l'irradiation totale horaire avec l'irradiation totale journalière, celles-ci sont :

$$r_d = \frac{D_h(0)}{D_d(0)} \quad (2.8)$$

et

$$r_g = \frac{G_h(0)}{G_d(0)} \quad (2.9)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\omega_s \cos \omega_s - \sin \omega_s} \right) \quad (2.10)$$

$$r_g = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\omega_s \cos \omega_s - \sin \omega_s} \right) \quad (2.11)$$

Où:

$D_h(0)$: irradiation diffuse horaire sur superficie horizontale

$G_h(0)$: irradiation globale horaire sur superficie horizontale

ω : Angle horaire et ω_s l'angle de coucher du soleil, les deux sont exprimés en radians.

a et b sont obtenus des formules empiriques suivantes :

$$a = 0.409 - 0.5016 \sin(\omega_s + 1.047) \quad (2.12)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s + 1.047) \quad (2.13)$$

2.1.4 Eclaircement sur surface inclinée

Pour les besoins de ce calcul, il est utile de considérer que l'irradiation d'une heure, coïncide numériquement avec l'éclairement moyen durant cette heure, et localisé au milieu de l'heure.

L'éclairement global incident sur une surface inclinée $G(\beta)$ peut être calculer comme la somme de l'éclairement direct $B(\beta)$, diffus $D(\beta)$, et réfléchi $R(\beta)$:

$$G(\beta) = B(\beta) + D(\beta) + R(\beta) \quad (2.14)$$

Alors, les équations exprimées en énergie, qui sont utilisées pour le calcul de l'énergie direct, diffuse et réfléchi, peuvent être utiliser pour le calcul de la puissance reçue sur une surface inclinée durant une heure.

2.1.4.1 Eclairement direct

La composante directe $B(\beta)$ peut être obtenue en utilisant les angles d'incidence θ_s et de zénith du soleil θ_{zs} :

$$B(\beta) = \frac{B_h(0) \cos \theta_s}{\cos \theta_{zs}} \quad (2.15)$$

avec $B_h(0)$:Irradiation directe horaire sur une surface horizontale.

2.1.4.2 Eclairement diffus

Modèle de Hay et McKay

Le modèle de Hay utilisé [9] considère dos zones dans le ciel comme sources de rayonnement diffus: une partie caractérisée par une émission isotrope (considère que le rayonnement diffus qui émane du ciel est uniformément distribué) et l'autre, la partie circumsolaire, qui émet de manière directionnelle.

$$D(\beta) = D_h(0) \left[\frac{G_h(0) - D_h(0)}{B_{oh}(0)} \frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_{zs}} + \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \left(1 - \frac{G_h(0) - D_h(0)}{B_{oh}(0)} \right) \right] \quad (2.16)$$

$$B_{oh}(0) = B_o \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360d_n}{365} \right) \right] \cos \theta_{zs} \quad (2.17)$$

où:

$B_{oh}(0)$: Eclairage extraterrestre horizontale

d_n : le numéro du jour de l'année

B_o : constante solaire (1367 W/m²)

2.1.4.3 Eclairage réfléchi

L'éclairage réfléchi sur une superficie inclinée est donné par [7]:

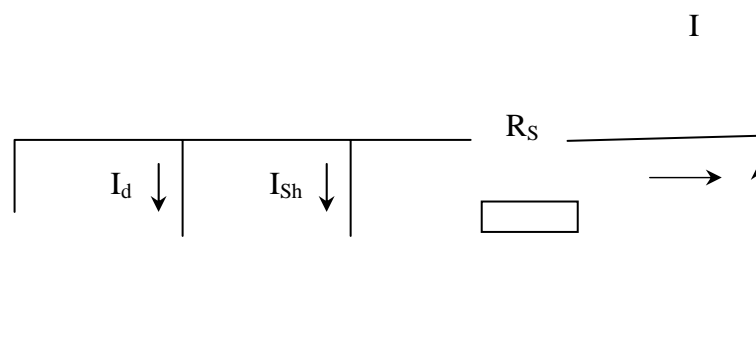
$$R(\beta) = \frac{1}{2} \rho G_h(0) (1 - \cos \beta) \quad (2.18)$$

où ρ est la réflectivité du sol et en l'absence d'information spécifique, on utilise $\rho=0,2$.

Le résultat de RECM pour le calcul de l'irradiation globale journalière incidente sur une superficie inclinée de 36,8° (Oran) est de 15,8%.

2.2 Modèle du générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion d'énergie solaire en énergie électrique par effet photovoltaïque[8]. Il est constitué de plusieurs modules assemblés en série et en parallèle selon la puissance demandée. Chaque module est lui-même constitué de cellules photovoltaïques généralement montées en série.



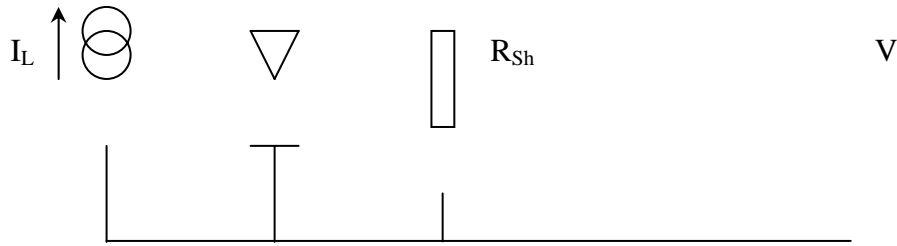


Figure 2.1 Schéma équivalent d'un module PV.

Le schéma équivalent d'un module PV est donné par la figure 2.1.

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

$$I_L = I_d + I_{sh} + I \quad (2.19)$$

Le courant qui passe dans la résistance shunt est donné par l'expression :

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.20)$$

Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V + IR_s)}{mKT}\right) - 1 \right] \quad (2.21)$$

En remplaçant les expressions de I_d et I_L , on obtient la relation entre le courant (I) et la tension (V) :

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{mV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.22)$$

avec

$$V_t = \frac{k \cdot T}{e} \quad (2.23)$$

Où I_L est le courant photogénéré dû à la génération de porteurs par l'illumination. I_0 est le courant de saturation, R_s la résistance en série, m le facteur d'idéalité, R_{sh} la résistance en

parallèle, k la constante de Boltzman, T la température de jonction et e la valeur de la charge de l'électron.

Dans ce travail, nous avons choisi le modèle analytique [10,11]. Pour un éclairage et une température donnés, les cinq paramètres (I_L , I_0 , m , R_S et R_{Sh}) peuvent être déterminés à partir des données suivantes qui sont la tension à circuit ouvert (V_{OC}), le courant de court-circuit (I_{SC}), la tension et le courant au point de maximum de puissance (V_m et I_m) et les pentes au voisinage de V_{OC} et de I_{SC} .

L'équation est implicite, donc pour sa résolution on nécessite des méthodes itératives. Il y a différents modèles pour obtenir les paramètres I_L , I_0 , m , R_S et R_{Sh} de l'équation 2.22.

En appelant :

$$\left(\frac{dV}{dI}\right)_{V=V_{oc}} = -R_{so} \quad (2.24)$$

$$\left(\frac{dV}{dI}\right)_{I=I_{sc}} = -R_{sho} \quad (2.25)$$

Les équations obtenues sont :

$$m = \frac{V_m + I_m R_{so} - V_{oc}}{V_t \left[\ln\left(I_{sc} - \frac{V_m}{R_{sh}} - I_m\right) - \ln\left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}\right) + \left(\frac{I_m}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sho}}}\right) \right]} \quad (2.26)$$

$$I_0 = \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}\right) \exp\left(-\frac{V_{oc}}{mV_t}\right) \quad (2.27)$$

$$R_S = R_{so} - \frac{mV_t}{I_0} \cdot \exp\left(-\frac{V_{oc}}{mV_t}\right) \quad (2.28)$$

$$I_L = I_{sc} \left(1 + \frac{R_S}{R_{sh}}\right) + I_0 \left(\exp\frac{I_{sc}R_S}{mV_t} - 1\right) \quad (2.29)$$

$$R_{sh} = R_{sho} \quad (2.30)$$

Une fois que l'on a caractérisé le module photovoltaïque, on modélise le générateur comme une association de N_S modules en série et N_P modules en parallèle, en supposant qu'ils sont identiques.

Calcul d'erreur

L'erreur standard est définie par :

$$ES = \left[\frac{\sum (I_{cal} - I_{exp})^2}{N} \right]^{0,5} \quad (2.31)$$

Où I_{cal} et I_{exp} sont les courants calculés et mesurés respectivement et N le nombre de points de mesure.

L'erreur relative est définie par :

$$E_x = \frac{X_{cal} - X_{exp}}{X_{exp}} \cdot 100 \quad (2.32)$$

Etant X : I_{sc} , V_{oc} et P_m .

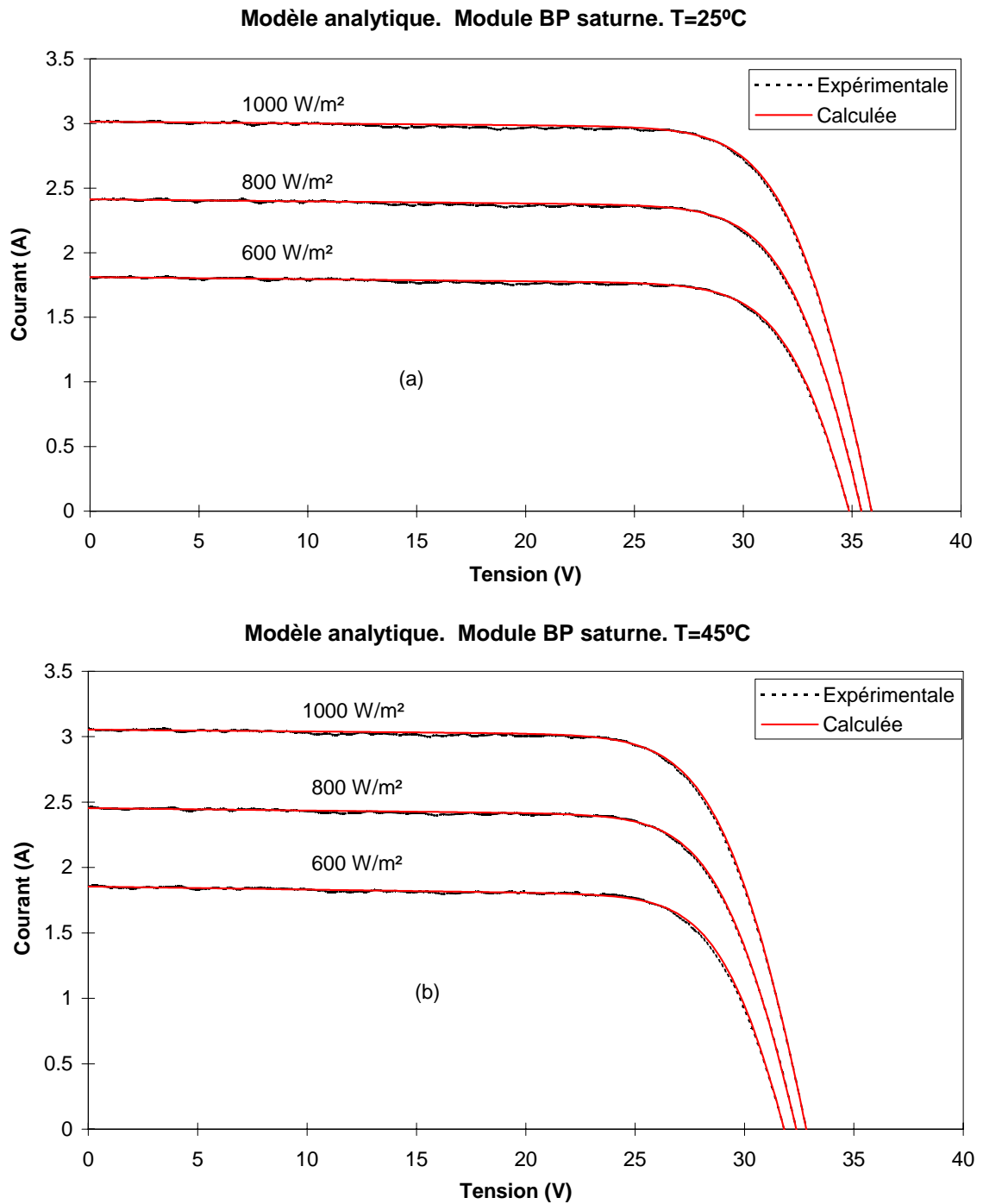


Figure 2.2. Courbes I-V expérimentales et calculées en appliquant le modèle analytique à un module (BP saturne) avec différents éclaircements. (a) T=25°C et (b) T=45°C. Madrid Espagne.

Tableau 2.1. Exemple d'application (module BP saturne)

Eclairement (W/m²)	1000	800	600	1000	800	600
Température (°C)	25	25	25	45	45	45
ES (A)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
E_{ISC} (%)	-7,9E-5	-0,0003	-0,0004	-0,0002	-0,0004	-0,0004
E_{VOC} (%)	0,001	-0,003	0,0004	0,002	-0,002	0,006
E_{PM} (%)	0,02	-0,01	0,05	0,14	-0,009	0,003

Dans la figure 2.2 et dans le tableau 2.1 on donne des résultats comparatifs entre les différents modèles. Pour les exemples analysés appliqués à un module photovoltaïque monocristallin pour des éclairements de 600, 800 et 1000 W/m² et des températures de 25 et 45°C, les erreurs obtenues entre les valeurs mesurées et calculées par les modèles sont données dans le tableau 2.1. Les erreurs sont faibles. Le modèle ajuste avec grande précision la caractéristique I-V et converge dans tous les cas étudiés. Cependant, il nécessite de bonnes mesures dans les zones voisines à I_{SC}, V_{OC}, I_m et V_m et mesurer les pentes en I_{SC} et en V_{OC}.

2.2.1 Corrections à d'autres conditions de température et d'éclairement

Pour la translation de la courbe I-V donnée à certaines conditions déterminées d'éclairement et de température à d'autres conditions distinctes désirées, nous avons utilisé la méthode selon la norme CEI 891. Elle est appliquée aux caractéristiques I-V mesurées de dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin seulement [12,13]. Avec cette méthode, la caractéristique courant-tension peut être corrigée par rapport aux valeurs de température et d'éclairement choisis :

$$I_2 = I_1 + I_{sc} \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha (T_2 - T_1) \quad (2.33)$$

$$V_2 = V_1 - R_s (I_2 - I_1) - K \cdot I_2 (T_2 - T_1) + \beta (T_2 - T_1) \quad (2.34)$$

I_1, V_1	: Coordonnées d'un point de la courbe de référence
I_2, V_2	: Coordonnées d'un point de la courbe corrigée
I_{sc}	: Courant de court-circuit de la courbe de référence
G_1, T_1	: Eclairement et température dans les conditions de mesure
G_2, T_2	: Eclairement et température dans les conditions désirées
α, β	: Coefficients de température du courant et de la tension
K	: Facteur de correction de la courbe (0,00125 Ohm/°C)

Résultats

La comparaison des erreurs d'extrapolation de courbes I-V à d'autres conditions d'éclairement et de température à partir des conditions initiales de référence 1000 W/m² et 25°C appliquées au même module photovoltaïque que dans le tableau antérieur et en utilisant la méthode de translation selon CEI-891 (voir tableau 2.2).

Comme on peut voir dans les erreurs obtenues entre les équations de translation et les valeurs mesurées, la méthode est précise pour les paramètres fondamentaux analysés du générateur photovoltaïque (I_{sc} , V_{oc} et P_m).

Tableau 2.2. Translation selon la norme CEI - 891

		Valeurs extrapolées					
Eclairement (W/m ²)		1000	800	600	1000	800	600
Température (°C)		25	25	25	45	45	45
Référence:	E _{ISC} (%)	—	-0,04	-0,06	-0,78	-1,08	-1,59
1000W/m ²	E _{VOC} (%)	—	0,31	0,61	0,96	1,30	1,64
25 °C	E _{PM} (%)	—	0,34	0,80	0,51	0,54	0,54

2.2.2 Modèle de la température de la cellule

La tension à circuit ouvert du générateur photovoltaïque dépend de la température de la cellule; donc le point de fonctionnement du système dépend de ce paramètre.

Ce modèle suppose que la température de la cellule (T_c) est une fonction linéaire de la température ambiante (T_a) et de l'éclairement (G) [6] :

$$T_c = T_a + \left(\frac{TONC - 20}{800} \right) \cdot G(\beta) \quad (2.35)$$

Où TONC est la température d'Opération Nominale de la Cellule en °C, définie comme la température que les cellules atteignent quand $G(\beta)$ est de 800W/m², T_a est de 20°C, la vitesse du vent est de 1m/s et la distribution spectrale est AM1,5G.

CHAPITRE 3

ETUDE ET REALISATION DE L'ONDULEUR

3.1 Introduction

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu-alternatif grâce à des semi-conducteurs[14]. Si l'onde de sortie ne dépend que de la commande des semi-conducteurs, on dit que l'onduleur est autonome.

On distingue deux types d'onduleurs[15]:

- Les onduleurs de tension:

Ils sont alimentés par une source de tension continue, les charges qui leurs sont connectées doivent être du type récepteur de courant.

- Les onduleurs de courant :

Ils sont reliés à une source de courant continu et leurs charges sont impérativement de type récepteur de tension.

3.2 Etude théorique.

Cette partie de notre travail consiste à la réalisation d'un onduleur de puissance de 500VA, une puissance suffisante pour l'alimentation d'un habitat de moyenne commodité. La sécurité n'est pas oubliée dans notre conception: mise à la terre, équilibrage des tensions par rapport à la terre, disjonction en cas de surintensités, etc....

Les caractéristiques d'un convertisseur sont [16,17]:

- La puissance nominale.
- Le rendement.
- Le courant maximal.
- Le taux d'harmoniques.

- La stabilité de la fréquence de l'onde de sortie.
- La consommation à vide.

Puissance nominale

C'est la puissance que peut délivrer l'onduleur en fonctionnement continu.

Rendement

Le convertisseur doit avoir le rendement le plus élevé sur la plus grande plage du taux de charge. Il existe divers modèles de calcul de la caractéristique du rendement si celle-ci n'est pas disponible.

Courant maximal

Il est nécessaire de connaître le courant maximal en fonctionnement continu et celui pouvant être débité pendant un bref laps de temps (cas du courant nécessaire au démarrage d'un moteur, celui-ci pouvant atteindre 2 à 10 fois le courant continu)[16].

Taux d'harmoniques

Toutes formes d'onde périodique peuvent être considérées comme la superposition d'une composante continue, d'une composante sinusoïdale pure appelée fondamentale, et d'ondes sinusoïdales pures appelées des harmoniques, de fréquences égales à des multiples entiers de celle de l'onde fondamentale. Une onde non sinusoïdale est appelée une onde complexe (composée).

Le taux d'harmoniques indique la différence entre l'onde de sortie (complexe) de l'onduleur et le signal sinusoïdal pur (fondamental).

Les harmoniques présents dans le signal de sortie provoquent des pertes énergétiques et l'échauffement des équipements alimentés, ceci pouvant entraîner leur destruction[18].

Stabilité de la fréquence de l'onde de sortie

La stabilité de la fréquence de l'onde de sortie de l'onduleur est importante, dans la mesure où certains équipements seulement peuvent fonctionner à une fréquence variable par rapport à la fréquence nominale.

Consommation à vide

Il est nécessaire de réduire au maximum les pertes à vide de l'onduleur. car celles-ci déchargent les batteries même si aucune charge n'est connectée à la sortie de l'onduleur.

Les convertisseurs fournissant un signal alternatif peuvent être classés en deux catégories: ceux dont le signal alternatif est sinusoïdal et ceux dont le signal alternatif est rectangulaire. La première catégorie débouche sur des appareils très performants, mais relativement complexes et souvent fort chers. La seconde catégorie aboutit à des appareils un peu moins performants, car un signal rectangulaire n'est pas toujours aussi bien accepté qu'un signal sinusoïdal, mais ces appareils sont infiniment plus simples et plus économiques à réaliser. Le convertisseur que nous allons réaliser a un signal alternatif rectangulaire.

3.2.1 Principe de fabrication d'un signal alternatif rectangulaire

Le principe retenu pour fabriquer un signal rectangulaire haute tension consiste à envoyer un signal rectangulaire basse tension à l'entrée de l'enroulement basse tension d'un transformateur, et à recueillir à la sortie de l'enroulement haute tension la tension désirée. Ainsi, si on veut obtenir un signal alternatif de 220V en sortie, à partir d'un signal alternatif de 12V, il suffit d'utiliser un transformateur 12/220V.

Un des avantages de fabriquer un signal rectangulaire est le fait que la tension efficace d'un tel signal est égale à sa tension maximale, alors que ce n'est pas le cas pour le signal sinusoïdal. Ainsi, pour obtenir une tension efficace de 220V au secondaire du transformateur, il suffit de produire un signal rectangulaire de $2 \times 220V$, soit 440V d'amplitude crête à crête. Or, si l'on suit le raisonnement précédent, il faut fournir au primaire du transformateur une tension de $2 \times 12V$, soit 24V d'amplitude crête à crête.

Pour obtenir ce résultat, il existe au moins deux montages: le premier utilisant un transformateur à deux enroulements basse tension, et le second utilisant un transformateur à un seul enroulement basse tension que l'on place dans un montage en pont,

Nous avons choisi la seconde solution, car un transformateur à un seul enroulement secondaire est moins cher, moins lourd et moins encombrant qu'un modèle à deux enroulements.

3.2.2 Les fonctions à réaliser

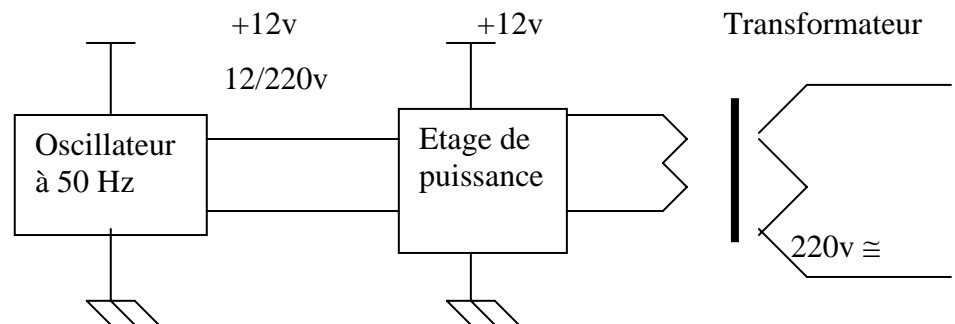


Figure 3.1 les différentes fonctions d'un convertisseur 220 v

Pour réaliser ce convertisseur 12/220V, il est donc nécessaire de disposer des trois fonctions suivantes (voir figure 3.1):

- Un oscillateur délivrant deux signaux rectangulaires à 50 Hz en opposition de phase .
- Un étage de puissance en pont, alimenté sous 12V, fournissant un signal de sortie alternatif de 24V .
- Un transformateur transformant ce signal en une tension alternative de 220V.

A ces diverses fonctions, il faut ajouter les sécurités inhérentes à la production et à l'utilisation d'une tension alternative de 220 V, tels que mise à la terre du boîtier du convertisseur, équilibrage des tensions par rapport à la terre, disjonction en cas de

surintensités et protection de l'appareil contre une inversion de branchement de la tension d'alimentation[17].

3.2.3 Le fonctionnement électronique

Commençons l'explication du fonctionnement du convertisseur par l'étage de puissance, car cet étage conditionne à la fois le choix du transformateur de sortie et la nature des signaux que doit délivrer l'oscillateur à 50 Hz.

3.2.3.1 L'étage de puissance

La disposition de l'étage de puissance est importante. Si l'on utilise le montage en pont classique, avec sortie sur les émetteurs, on constate une chute de tension de l'ordre de 1,5 V dans chaque transistor de puissance utilisé en interrupteur. Cette chute de tension provient du fait qu'un transistor de puissance nécessite un transistor de commande, monté en Darlington et que la chute de tension V_{ce} est alors égale à 2×0.7 V (V_{be} des deux transistors) + 0.1 V au moins, dû à l'impédance de la source de commande. Alimenté à partir d'une tension de 12 V, il ne reste plus aux bornes de l'enroulement basse tension qu'une tension de 2×9 V.

Avec une telle disposition, il conviendrait de choisir un transformateur 9/220V. Pour être sûr d'obtenir 220V en sortie.

Si maintenant, nous regardons le rendement de cet étage de puissance, nous constatons que pour un courant de 2A dans l'enroulement basse tension, les quatre (04) transistors de puissance doivent dissiper 6W, ce qui implique qu'il faut les équiper de radiateurs thermiques.

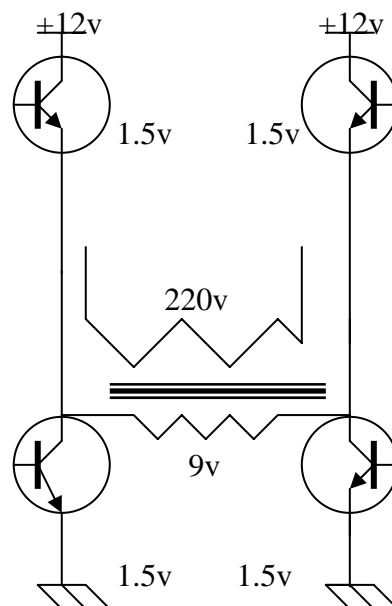


Figure 3.2 (a) différents types de montage en pont à sortie sur les émetteurs et schéma de principe de l'étage de puissance

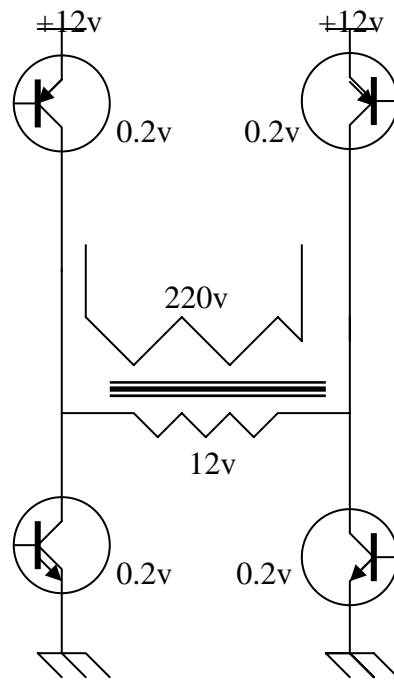


Figure 3.2 (b) différents types de montage en pont à sortie sur les collecteurs et schéma de principe de l'étage de puissance

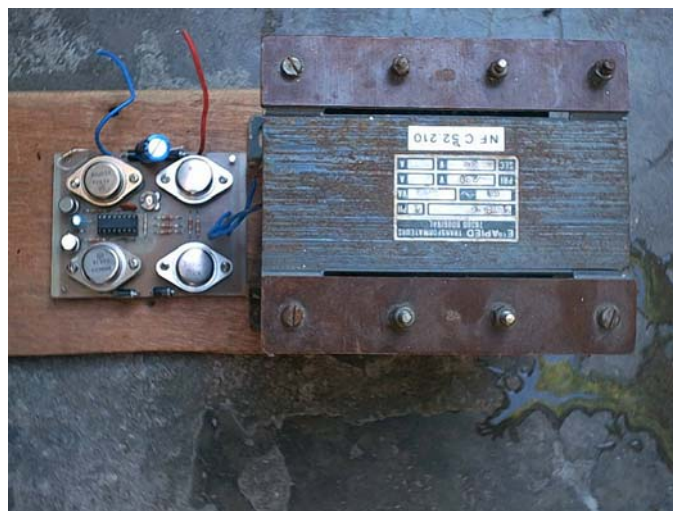


Figure 3.3 Etage de puissance du convertisseur réalisé

L'autre disposition présentée à la figure 3.2-b est un montage en pont à sortie sur les collecteurs. Ce montage présente l'avantage de ne chuter que 0,2 V par transistor, ce qui correspond au V_{cesat} du transistor et donc permet l'emploi d'un transformateur 12/220V, à condition d'augmenter légèrement la tension d'alimentation de 12V. Or, cela

correspond justement à la valeur usuelle de la tension batterie qui oscille entre 12 et 14V. De plus, le rendement est nettement meilleur puisque, en reprenant le même exemple que précédemment, les 4 transistors de puissance ne doivent dissiper que 0,8W. Cette puissance n'implique pas le besoin en radiateur thermique.

Nous avons choisis la deuxième position, car elle permet une économie notable en radiateurs thermiques et en encombrement.

Le schéma complet du convertisseur est indiqué à la figure 3.4, tous les composants tiennent sur une plaque de circuit imprimé, à l'exception du fusible, de l'interrupteur, du condensateur C4, du transformateur et des deux résistances R9 et R10.

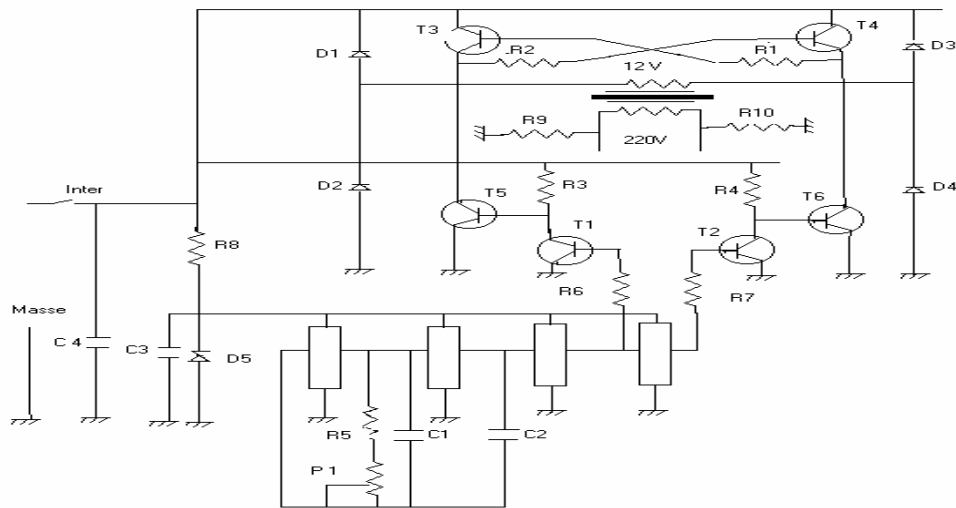


Figure 3.4 Schéma complet du principe du convertisseur

3.2.3.2 L'oscillateur déphaseur à 50 Hz

Les montages d'oscillateur capable de fournir un signal rectangulaire sont nombreux. Le choix s'est porté sur un oscillateur à inverseurs logiques C-MOS du fait de la fréquence relativement basse à obtenir (50Hz) et de la simplicité de réglage de cette fréquence.

Par contre, il a fallu faire appel à des inverseurs C-MOS de puissance CD4049, car les inverseurs C-MOS normaux ne permettent pas de commander directement les transistors T1 et T2 .

Le schéma de l'oscillateur est classique (figure 3-5), c'est à dire que la fréquence d'oscillation des inverseurs A et B est déterminée par l'ensemble RC constitué par R5 P1 et C2. Le condensateur C1, placé en parallèle sur R5 et P1 sert à symétriser le rapport cyclique du signal rectangulaire. Le potentiomètre P1 sert à symétriser le rapport cyclique du signal rectangulaire. Le potentiomètre P1 permet de faire varier la fréquence entre 50 et 60 Hz.

L'inverseur C sert à la fois d'étage tampon et de mise en forme du signal rectangulaire. Sa sortie alimente la base du transistor T1, via la résistance R6.

Quant au dernier inverseur D, il inverse le signal de commande, de façon à attaquer en opposition de phase le transistor T2 , via la résistance R7.

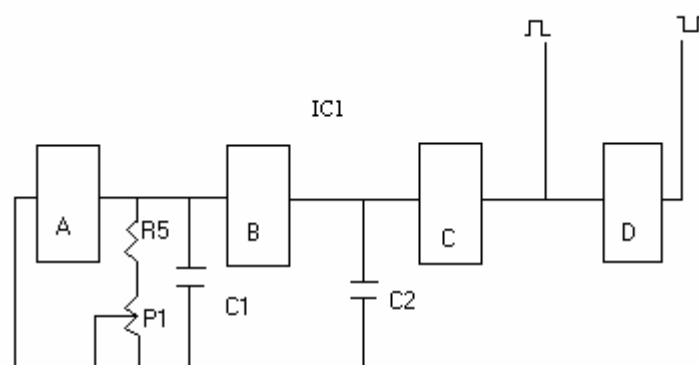


Figure 3.5 Schéma de l'oscillateur

3.2.3.3 Le transformateur

Comme cela a été expliqué précédemment, la réalisation de ce convertisseur nécessite un transformateur de puissance 500 VA.

Celui qui étaient à notre disposition est de marque Ets APIED TRANSFORMATEUR 12/220-2A, qui le satisfait pleinement sur le plan électrique que sur le plan mécanique.

3.2.3.4 L'alimentation et les protections

La production et la manipulation d'une tension alternative de 220V entraînent des protections nombreuses et indispensables. La figure 3.6 illustre ces différentes protections.

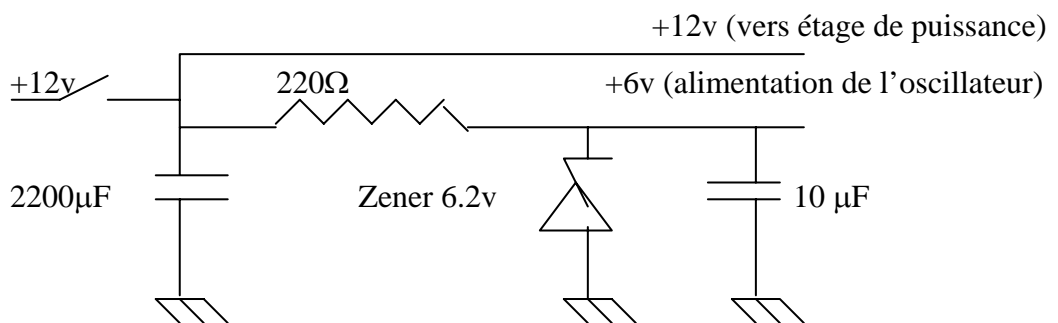


Figure 3-6 Alimentation des étages du convertisseur 220 v

En premier lieu, le + 12V traverse un fusible de 3,15 A, afin de limiter toute tentative de dépassement de la puissance prévue de 500W. Comme le convertisseur consomme environ 300 mA au repos, nous avons inséré l'interrupteur directement sur le +12V afin que le convertisseur ne vide pas la batterie en cas de non utilisation.

Le condensateur de 2200 μf déparasite la tension d'alimentation, tant des parasites d'origine externe que de ceux qui proviennent des transistors de commutation du convertisseur.

Le convertisseur étant placé dans un boîtier métallique, il est absolument indispensable que ce boîtier soit relié à la masse de la terre. Cette mise à la terre s'opère en soudant le fil de masse relié au pôle – de la batterie au boîtier métallique du convertisseur

Quant à la tension alternative qui apparaît aux bornes de l'enroulement haute tension du transformateur, il faut lui fixer un potentiel de référence, sinon les potentiels statiques par rapport à la terre peuvent prendre des valeurs considérables, voire dangereuses pour l'utilisateur.

3.3 Calcul des différents composant de l'étage de puissance.

$$I_B > I_C / \beta_{\min} \quad (3-3).$$

Pour qu'il ait saturation (passage de courant du collecteur vers l'émetteur), il faut que

$$I_B * \beta_{\min} > I_C \quad (3-4)$$

$$I_B > \alpha * I_C / \beta_{\min} \quad \alpha = 2-3.$$

Comme $V = R * I$ (3-5)

$V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ caractéristique des transistors au silicium .

On commence le calcul par la résistance R_4

Calcul de R_4

On a $V_{R4} = R_4 * I_{BT6}$ (3-6)

$$V_{R4} = V_S - V_{BE} = 12 - 0.6 = 11.4 \text{ v}$$

$$I_{BT6} = 3 I_{CT6} / \beta_{\min} = 3 * 5 / 300 = 0.05.$$

$$R_4 = 11.4 / 0.05 = 228 \Omega.$$

$$\underline{R_4 \approx 220 \Omega.}$$

De la même manière que R_4 , on calcul R_3 , R_7 , R_6 , R_1 et R_6 .

Et on trouve $R_4 = R_3 + R_2 = \underline{220 \Omega.}$

Et $R_7 = R_6 = \underline{2,20 \text{ k}\Omega.}$

Calcul de R_8

$$I_{Z\max} = 0.25 / V_Z = 0.25 / 6.2 = 0.04 \text{ A}$$

$$R_{8\min} = VR_8 / I_{z\max} = 12 \cdot 6 / 0.04 \approx 220 \Omega.$$

$$\underline{R_8 = 220 \Omega.}$$

Calcul de C_2

A,B porte logique ($R_{5+P1}-C_1-C_2$), c'est un ASTABLE

$$T = 0.6 R_{5+P1} * C_2. \quad (3-7)$$

sachant que

$$T = 1/F = 1/50 = 0.02 \quad (3-8)$$

$$C_2 = T / 0.6 * R_{5+P1} = 0.02 / 0.6 * 470 * 220 \approx 10 \text{ nF.}$$

$$\underline{C_2 \approx 10 \text{ nF.}}$$

3.4 La réalisation du convertisseur

3.4.1 Le circuit imprimé

Le circuit imprimé est réalisé en verre époxy simple face. Ses dimensions (80 * 95 mm) ont été calculées afin qu'il puisse prendre place dans un boîtier adéquat.

Nous remarquons les grandes surfaces de cuivre qui servent de radiateur thermique aux quatre transistors de puissance (photo sur la figure 3.7). Vous pourrez vérifier leur efficacité en fonctionnement, puisque à pleine puissance, les transistors ne sont même pas tièdes.

Nous remarquons également la largeur des lignes d'alimentation. Elle est de 3 mm, afin d'assurer une résistance électrique très faible aux courants de 2A. Il nous faudra cependant faire attention lorsque vous fixerez le circuit imprimé sur le boîtier, car en utilisant de la visserie et des colonnettes métalliques, nous allons court-circuiter la ligne d'alimentation + 12V avec la masse du boîtier. Pour éviter cela, Nous utilisons de la visserie isolante ou alors, intercalez une rondelle isolante entre les colonnettes et le cuivre du circuit imprimé.

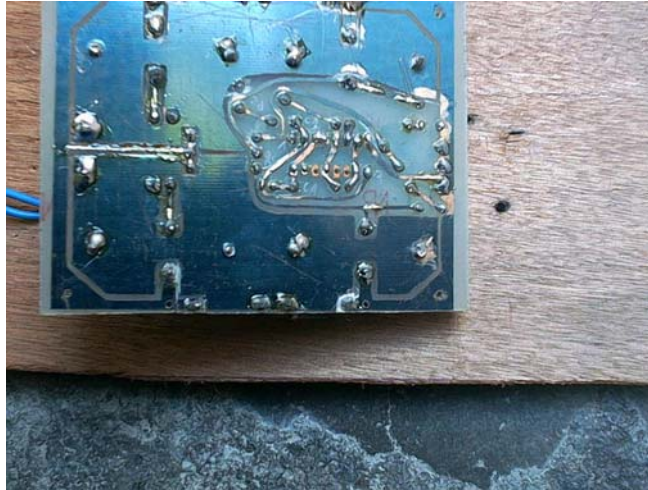


Figure 3.7 photo du circuit imprimé utilisé.

3.4.2 Les essais de réglage

Nous plaçons le fusible de 3.5 A dans son logement et on alimente en 12V le convertisseur, on vérifie la présence du 220 V en branchant un voltmètre sur la prise de courant. Avec un voltmètre à aiguille, on doit lire une valeur supérieure de 10 % à la réalité.

Ainsi, si nous lisons une valeur de 245V l'échelle du voltmètre, cela correspond à une valeur efficace de 220 V cette différence provient de la forme d'onde du signal qui est rectangulaire, alors que le voltmètre a été étalonné avec un signal sinusoïdal.

Nous chargeons alors notre convertisseur avec l'appareil (ampoule -réfrigérateur- poste radio) de 500 W. Elle doit s'allumer avec le même éclat que lorsque vous la branchez sur le secteur SONELGAZ. Nous pouvons également mesurer la tension en charge qui doit descendre aux alentours de 220/210V. Le transformateur utilisé étant un modèle de 500VA. il effectue lui-même une certaine limitation en tension dès que la puissance demandée dépasse les 500W.

3.5 Conclusion

Il est à signaler que la limitation en puissance est due principalement qu'au transformateur. La forme d'onde est également une seconde limitation, car plus nous augmentons la puissance et plus certains appareils acceptent mal un signal rectangulaire, car ils ont été conçus autour d'un signal alternatif sinusoïdal.

CHAPITRE 4

EXPERIMENTATION DE L'HABITAT SOLAIRE

4.1 Introduction

Après ce vaste tour d'horizon portant sur les généralités, les recommandations et la modélisation concernant les différents éléments d'un système photovoltaïque autonome, on passe à l'étape de concrétisation de cet ensemble de connaissance acquises, qui consiste à une réalisation et expérimentation d'un habitat électro-solaire individuel de puissance maximale « 0.5 kW » dans la région de BLIDA.

Ainsi, ce présent chapitre comporte deux parties suivantes :

La première est consacrée à la réalisation, laquelle porte sur un pré-dimensionnement de l'installation en fonction d'un cahier de charge bien élaboré et les démarches de la mise en service du système photovoltaïque.

La seconde partie est réservée à l'expérimentation de l'installation, laquelle consiste à une implantation d'un banc d'essai pour un suivi instantané figure 4.1, les résultats obtenus sont analysés et commentés.

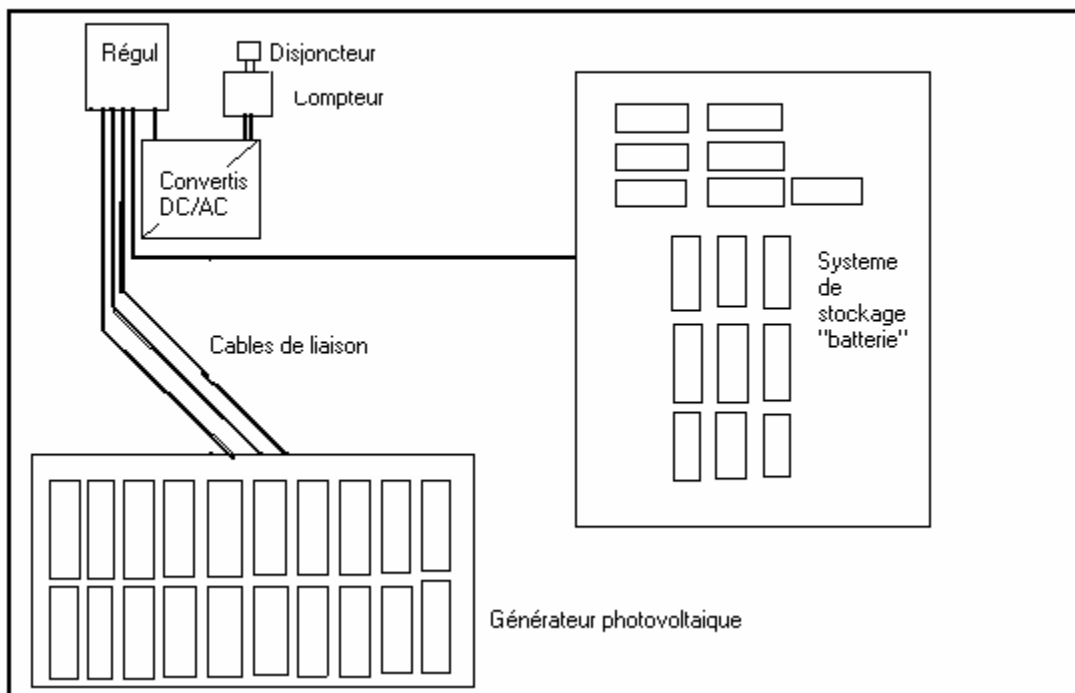


Figure 4.1 Banc d'essai de l'installation photovoltaïque

4.2 Réalisation de la maison électro-solaire

Il est bien évident que pour mener méthodiquement et objectivement une réalisation, on doit définir un cahier de charges en fonction des objectifs et de matériels disponibles.

4.2.1 Cahier de charge

Nous souhaitons par le biais de ce présent projet de fournir un maximum de confort possible pour une petite famille habitant en permanence une maison F3 à BLIDA, dont leurs besoins énergétiques seront fournis par un système photovoltaïque.

4.2.2 Eléments disponibles

Données relatives au site de BLIDA :

*Latitude : $\varnothing=27.8^\circ$.

*Irradiation moyenne mensuelle reçue sur une surface inclinée à la latitude $EG(\beta)$ est égale à 5900 [Wh/m²].

*Albédo : $Alb = 0.35$.

La connaissance des matériels disponibles définit les hypothèses de l'étude, lesquelles on doit tenir compte. Les caractéristiques techniques du module PV utilisé sont:

*Puissance crête $P_c = 49.7 \text{ W}$

*Courant de court circuit $I_{sc} = 3.35 \text{ A}$.

*Tension de circuit ouvert $V_{oc} = 21.2 \text{ v}$

*Courant au point de puissance optimale $I_m = 3.09 \text{ A}$.

*Tension au point de maximum puissance $V_m = 16.12 \text{ V}$.

*Rendement $\eta_m = 13.1 \%$

*Facteur de forme $FF = 0.70$.

*TONC = 46°

*Longueur $L_m = 129.4 \text{ cm}$

*Largueur $l_m = 32.9 \text{ cm}$

*Epaisseur $e_m = 3.3 \text{ cm}$

*Surface totale du module $A_m = 0.426 \text{ m}^2$

*Surface totale des cellules dans le module $A_c = 0.378 \text{ m}^2$

*Facteur de remplissage $Fr = A_c / A_m = 0.887$

4.2.3 Convertisseur DC/AC Monophasé

Les caractéristiques techniques du convertisseur utilisé sont :

- Un signal alternatif à la sortie carré 220 volts, 50 hertz
- Un rendement $\eta_c = 80\%$ en moyenne.
- Une consommation à vide de 65 W.
- Une puissance nominale $P_{nc} = 0.5 \text{ Kva}$.

4.2.4 Régulateur de charge

La fiche technique du régulateur utilisé est la suivante :

- Courant max du générateur :45 A.
- Puissance max du générateur :2160 W.
- Courant max de l'utilisation :60 A.
- Puissance max d'utilisation :2880 W.
- Rendement $\eta_r=85\%$.

4.2.5 Les batteries

Les batteries utilisées ont les caractéristiques suivantes :

- Capacité en C_{10} :160 Ah.
- Rendement : $\eta_b =80\%$.
- Seuil de surcharge 6.3 V.
- Seuil de décharge excessive 5.7 V.

4.2.6 La charge

La charge représente l'ensemble des équipements électriques (éclairage, appareils électroménagers) installés dans la maison en question, à savoir.

- 04 lampes incandescentes de 60 w pour les chambres.
- 05 lampes fluorescentes de 18 w pour le couloir, la cuisine, la salle de bains, les toilettes et l'extérieur.
- Un réfrigérateur -congélateur de 130 w
- Un téléviseur -couleur de 120w
- Un poste cassette de 33 w
- Un ventilateur de 26.7 w en continu

4.2.7 Divers accessoires

- Les câbles de 2*1.5 et 3*1.5 [mm] avec gaine en PVC
- Les cornières en profilé d'aluminium en « L »

4.3 Dimensionnement

Dimensionner, c'est une conception qui consiste essentiellement à évaluer le nombre de modules photovoltaïques et la capacité du stockage nécessaires en fonction des besoins énergétiques de l'utilisateur et du niveau de l'ensoleillement du site en question.

Le présent dimensionnement est établi par les modules de dimensionnement précités tout en tenant compte des hypothèses déduites du cahier des charges.

4.3.1 Calcul et dimensionnement du générateur photovoltaïque

Hypothèses

Le choix du convertisseur DC/AC à utiliser impose deux hypothèses suivantes:

- ◆ Du point de vue fonctionnement, le système voit l'onduleur comme charge à alimenter; d'où la nécessité d'adapter la tension du système à celle du convertisseur dont, la tension de travail est $V_t=48v$.
- ◆ A son tour, l'onduleur doit alimenter la charge de l'utilisateur, ce dernier doit veiller à ne pas consommer une puissance instantanée supérieure à la puissance nominale permise par le convertisseur.

Donc, le profil de charge ne doit pas comporter une puissance instantanée supérieure à 0.5 KW .

Le dimensionnement doit tenir compte des conditions les plus défavorables (le mois le moins ensoleillés) afin que l'habitant en question arrive à utiliser le système durant toute l'année d'une manière permanente.

Le niveau d'insolation de la région est suffisant pour le choix d'un jour d'autonomie.

Etant donnée la consommation d'un réfrigérateur augmente avec la température et ses pertes thermique, et le ventilateur est destiné à l'aération du local concerné durant les saisons chaudes, alors l'utilisation consommera donc plus d'énergie durant l'été.

Dans le souci d'établir un certain équilibre entre l'offre et la demande d'énergie, nous allons adopter une inclinaison du générateur de 27°, une telle inclinaison qui est proche de la latitude (27.8) permettra de récolter le maximum d'énergie durant une année de fonctionnement [18].

4.3.1.1 Estimation du profil de charge

Les conditions climatologiques de la région de BLIDA (Eclairage, Températures), nous a permet d'estimer un profil de consommation énergétique moyen journalier. Le profile est supposé constant durant toute l'année et il est représenté dans le tableau 4.1 suivant :

Tableau 4.1 Le profil de consommation journalière adopté.

Applications	Désignation	Service fournis	Utilisation %	Cons wh/j
Eclairage	04 lampes 60 W	Eclairage des chambres 6 h/j	70	1008
	05 néons 18 W	Eclairage du couloire 6h/j	50	54
		Eclairage de la cuisine 5h/j	70	63
		Eclairage de la salle de bains 1h/j	100	18
		Eclairage de la toilette 1h/j	100	18
		Eclairage de l'extérieure 6h/j	70	75.6
Appareils	TVC 120W	8h/j	100	960
	Poste cassette 33 W	4h/j	100	120
	Ventilateur 26.7 W	4h/j	100	108
	Réfrigérateur 130 W	16h/j	100	2080

La consommation totale journalière est estimée à $E_{cj}=4504.6$ Wh/j.

Energie produite par un module photovoltaïque E_{pm} :

L'estimation de l'énergie produite par un module photovoltaïque est donnée par la relation suivante :

$$E_{pm} = EG(\beta) * \eta_m * A_m * Fr = 292.05 \text{ Wh/j} \quad (4.1)$$

Energie journalière que doit produire le générateur E_{pg} :

L'énergie du générateur photovoltaïque journalièrement est donnée par la relation suivante :

$$E_{pg} = E_{cj} / \eta_b * \eta_r * \eta_c = 6930.2 \text{ Wh/j} \quad (4.2)$$

Cette énergie que le générateur doit produire n'est autre que la somme des fractions d'énergies fournies par l'ensemble des modules. Ainsi, si N_m est le nombre de modules, alors :

$$E_{pg} \leq N_m * E_{pm} \quad (4.3)$$

Le nombre de modules nécessaire pour le générateur photovoltaïque est donné comme suit :

$$N_m \geq E_{pg} / E_{pm} \quad (4.4)$$

On trouve $N_m \geq 23.17$

Donc, nous prendrons un nombre de modules $N_m = 24$.

4.4 Association des modules

Une fois le nombre de modules connu, nous déterminons la configuration nécessaire équivalente à l'association série - parallèle des ces modules.

4.4.1 Association série

Elle consiste à évaluer le nombre de modules dans chaque branche. Cette configuration est déterminée en fonction directement de la tension de travail du système et de la puissance optimale

Soient,

V_m : tension des modules au point de la puissance maximale

V_t tension de travail du système photovoltaïque

N_{ms} nombre de modules en série dans chaque branche, alors, la relation suivante doit être satisfaite :

$$V_m * N_{ms} \geq V_t$$

ce qui donne $N_{ms} \geq 2.96$ (4.5)

En premier lieu, nous apercevons que le nombre N_{ms} peut être fixé à trois 03 modules. Ce nombre correspondra à une tension moyenne de travail des modules de 16 v. Laquelle comparée à la tension moyenne des modules au point de puissance max 16,12 v, nous permet de prévoir que la caractéristique $f(I,V)$ des modules du générateur sera trop influencée par l'effet de la température. Cette situation entraînera désadaptation du générateur. D'ailleurs nous constatons que le système de stockage ne peut en aucun cas atteindre sa charge complète (tension de surcharge 56.4 V).

Pour éviter une telle désadaptation et surtout pour limiter l'effet de la température sur le fonctionnement du générateur, le nombre de modules en série dans chaque branche est fixé à quatre. Lequel correspond à un point de travail des modules de 12 volts situant à l'orée du coude de la caractéristique $f(I,V)$.

4.4.2 Association parallèle

C'est le nombre de branches N_{bp} de N_{ms} modules en série, nécessaire à mettre en parallèle dans le générateur.

La connaissance de N_m et N_{ms} permet de déduire N_{bp} par la relation suivante :

$$N_{bp} = N_m / N_{ms} \text{ d'où } N_{bp} = 24 / 4 = 06 \text{ branches} \quad (4.6)$$

En résumé le générateur photovoltaïque est constitué de 06 branches en parallèles de 04 modules en séries chacune.

4.5 Dimensionnement du système de stockage

Comme explicitée par la relation de la capacité du système de stockage nécessaire en fonction de l'autonomie qui est donnée par :

$$C_s = N_j E_{c_j} / (P_d * V_s * \eta_b * \eta_r * \eta_c) \quad (4.7)$$

La tension nominale V_s du système de stockage est égale à la tension de travail de l'installation.

Le nombre de jours d'autonomie N_j est fixé à une journée et demie

Après calcul, on trouve :

$$C_s = 432.97 \text{ Ah}$$

La capacité en C_{10} nécessaire à stocker est évaluée par la formule suivante :

$$C_{10} = C_s / F_{cs} \quad (4.8)$$

Où F_{cs} traduit le facteur de correction (facteur permettant de déduire la capacité en C_{10} par une correction de la capacité calculée.

$$F_{cs} = 1.25 \text{ pour } 1 \leq N_j \leq 4$$

$$\text{D'ou } C_{10} = 346.4 \text{ Ah.}$$

4.5.1 Association série- parallèle des batteries

On dispose des batteries de 06 v, 160 ah alors, si N_b est le nombre de branches, il faut que :

$$C_{10} \leq N_b * 160 \Rightarrow N_b \geq 2.165 \quad (4.9)$$

D'après le catalogue des ces batteries, on prend $N_b=03$ branches, ceci correspond à une capacité $C_{10}=480$ Ah. D'ou, un surdimensionnement du système de stockage de 140 Ah. Un tel excès permettra de limiter l'influence de la température et des batteries usées sur le fonctionnement énergétique de celui-ci.

D'autre part, pour fixer la tension du système de stockage à la tension de travail, on doit mettre dans chaque branche huit 08 batterie de 06 v en série ($06*08 =48V$).

En résumé, il nous faut un nombre total de 24 batteries (6v ,80 Ah) associées en 03 branches parallèles de 08 batteries en séries chacune.

4.5.2 Dimensionnement des câbles

Vu les distances séparant les différents éléments de l'installation, on constate que le câblage susceptible d'occasionner des pertes importantes est bien celui reliant le générateur au régulateur. Pour cela, nous allons présenter le calcul détaillé de la section qui sera adoptée à ce câblage. Ceci suivant la formule ci-dessous :

On a

$$S = I_{\max} \cdot \rho \cdot L / \nabla V_{\max} \quad (4.10)$$

Un générateur est constitué de deux branches de 04 modules

$$I_{\max} = 2 \cdot I_{sc} = 6.7 \text{ A} \quad (4.11)$$

∇V_{\max} représente 1.5 % de la tension de travail 48V

$$\nabla V_{\max} = 0.72 \text{ V} \quad (4.12)$$

Longueur totale des fils $L = 25\text{m}$

Après calcul on trouve $S = 418.75 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$

Où le diamètre des câbles $D = 2.3 \text{ mm}$.

Pour le dimensionnement des câbles reliant le système de stockage et l'utilisation au régulateur nous allons prendre le courant maximale I_{\max} égal à celui qui correspond à une utilisation maximale 0.5 kW. Alors, le courant restitué par les batteries pour une telle consommation sous tension de travail est égal à :

$$I_{\max} = 21 \text{ A}$$

Après calcul on trouve :

$$S = 2.63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Donc $D = 1.83 \text{ mm}$

D'après les références des câbles sur le marché, on doit utiliser ceux correspond à un diamètre égal à 2.5 mm pour toutes les liaisons.

Remarque

L'objet du dimensionnement revient à estimer les tailles des différents éléments du système permettant de respecter le taux de satisfaction des besoins demandés par l'utilisateur (client dans la réalité) et de mettre au courant le client du devis estimatif de son installation, afin d'avoir son accord ou son refus à l'achat [18].

4.6 Installation du système photovoltaïque

4.6.1 L'installation du générateur photovoltaïque total

Le générateur photovoltaïque total est constitué de 20 modules, le régulateur de charge possède 03 entrées, dont 02 régulées et 01 non régulée.

Ainsi, nous avons fractionné le champ PV en trois 03 générateurs indépendants, dont deux générateurs comporte 08 modules chacun (quatre modules en série x 2 branches) et le troisième générateur est composé de 04 modules en série.

L'état du terrain de l'implantation du générateur, nous a contraint à configurer ce dernier en 02 rangées de 10 modules.

Chacun des 03 générateurs photovoltaïque est protégée contre des éventuels retour de courant du système de stockage par borne deux diodes MR 501 anti-retour montées en parallèle et intercalées à la borne (+).

4.6.2 L'installation des batteries

Il a été prévu (dimensionnement), l'utilisation d'un nombre de 24 batteries de 06 v associés en 03 branches, dont chacune est composée de 08 batteries en série. Ceci, afin d'avoir une tension aux bornes de 48 v et une capacité au moins égale à 346.4 Ah. Malheureusement, on dispose que d'un nombre de 16 batteries.

Les batteries sont raccordées en de branches de 8 batteries en série chacune.

Pour la mise en service du système de stockage, les batteries ont été:

-Remplis par l'acide sulfurique.

-Chargées par le générateur PV

Pour que les batteries soient chargées lentement et a tension constante, nous avons configuré le générateur en 08 branches de 03 modules en séries chacune

Cette configuration est choisie seulement pour charger soigneusement les batteries.

4.6.3 L'installation de la charge

C'est une simple installation électrique, suivant le plan électrique de la maison en question.

Comme nous l'avons déjà signalé, le profil de charge ne comporte pas le réfrigérateur. Ainsi le nouveau profil de charge est la dernière étape de la réalisation consiste a relier, en moyen des câbles disponible, entre les différents sous systèmes préalablement installés.

4.7 Système d'acquisition des données

Le dispositif d'acquisition des données est composé:

Appareil d'enregistrement de tension et d'intensité.

Un thermomètre placé au dessous des modules

Une pince volt Ampérométrique.

Un solar-mètre calibré en mV/cm^2 placé sur le plan du générateur solaire

Par l'intermédiaire de ce banc d'essais, nous avons relevé l'ensemble des paramètres suivants :

- l'éclairement global reçu sur le plan du générateur solaire.
- les courants délivrés par les trois générateurs.
- le courant de charge et de décharge du système de stockage.
- le courant de l'entrée et de la sortie de l'onduleur
- la tension de travail du système.
- la température ambiante aux alentours du générateur PV.

4.7.1 Procédures de mesures et résultats

Avant le déroulement des mesures, le système a été mis en marche en test trois jours avec une inspection permanente.

Ceci, afin de supprimer tous les problèmes susceptibles d'interrompre ou de fausser le déroulement des mesures (mise au point de l'installation toute entière).

Finalement, il est clair qu'une meilleure évaluation des performances d'une installation PV se résume à un suivi portant sur une longue période ou à quelque jours typique de chaque saison. Or, dans notre cas, vu la période limitée, causée par le temps alloué à la réalisation de l'onduleur. Les relevés qui ont été effectués portent seulement sur deux 02 jour 5 et 6/07/01.

Afin d'avoir le maximum d'information sur le fonctionnement de l'installation durant ces 02 jours, nous avons adopté une utilisation de la charge typique au mode de vie du citoyen de la région de Blida et enregistrer des valeurs étalant de 06 heure jusqu' 19h 30 avec un pas de 30 min.

4.8 Analyse et commentaire des résultats

Tenant compte du fait que les performances d'un système PV avec stockage sont reliées d'un jour à l'autre, la période de 02 jours ne peut être suffisante pour évaluer correctement les performances de l'installation. Ainsi dans ce qui suit, les analyses des résultats ne seront qu'estimatives et porteront singulièrement sur la saison d'été.

Alors, il importe de noter ici que toutes les caractéristiques qui seront déduites des paramètres mesurer donnent seulement une indication sur l'ordre de grandeur et les analyses porteront surtout sur la manière dont évoluent ces divers paramètres.

Outil de calcul

Toutes les énergies seront calculées par la méthode des trapèzes. Laquelle consiste à échantillonner pas à pas la surface délimitée par la courbe de puissance $P(t)$ et l'axe du temps à un ensemble de trapèzes, dont leurs bases (bases basses) sont égales au pas d'échantillonnage préalablement défini.

Ainsi, la surface ou en terme exacte l'énergie en question n'est autre que la somme des aires des trapèze, qui est évaluée par la relation suivante :

$$EG(\beta) = \Delta t / 2 * \Sigma [P(t_i) + P(t_{i-1})].$$

$P(t_i)$: La puissance à l'instant t_i .

$P(t_{i-1})$: La puissance à l'instant t_{i-1} .

Δt : Le pas d'échantillonnage est égale à celui fixé lors des relevées (30 minutes).

$EG(\beta)$: L'énergie à déterminer en $Wh/m^2/j$.

4.8.1 Générateur PV

Dans cette partie seront étudiés le comportement du générateur avec le reste du système et son rendement en fonction de l'éclairement solaire reçu.

A l'égard de l'évolution de l'éclairement, nous constatons d'après les graphes donnés par la figure 4.3, qu'il y a une similitude entre les éclairements reçus durant les deux jours.

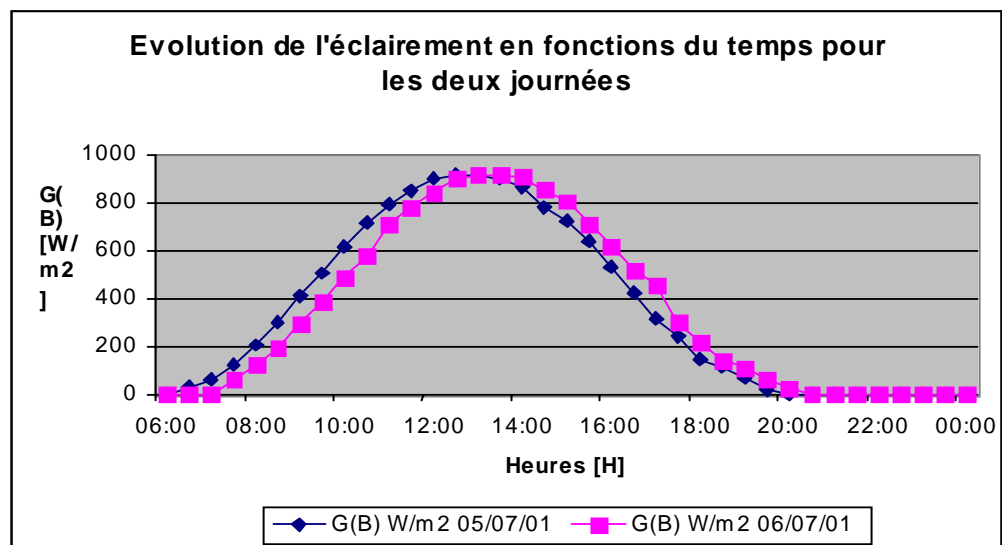


Figure 4.3 Evolution de l'éclairement en fonction du temps

Les valeurs de l'irradiation journalière sont données par le tableau 4.2 suivant:

Tableau 4.2 Les irradianations journalières reçues sur le plan des générateurs solaires

Jours	EG(β) Wh/m ²
05/07/2001	6528
06/07/2001	6435

Avec

EG(β) :L'irradiation journalière reçu sur le plan du générateur.

Les figures 4.4 (a-b-c) montrent l'évolution des puissances générées par les trois générateurs en fonction de l'éclairement. Une observation de celles-ci permet de déceler la proportionnalité existant entre l'éclairement et les puissances fournis par les générateurs, voir surtout le générateur relie directement au système de stockage, dont le coefficient de proportionnalité n'est autre que les rendements des générateurs. Alors, la puissance totale produite par le générateur est la somme de la puissance des trois générateurs photovoltaïque.

Nous observons aussi les deux générateurs qui sont régulés, ont la même allure avec des points de coupure

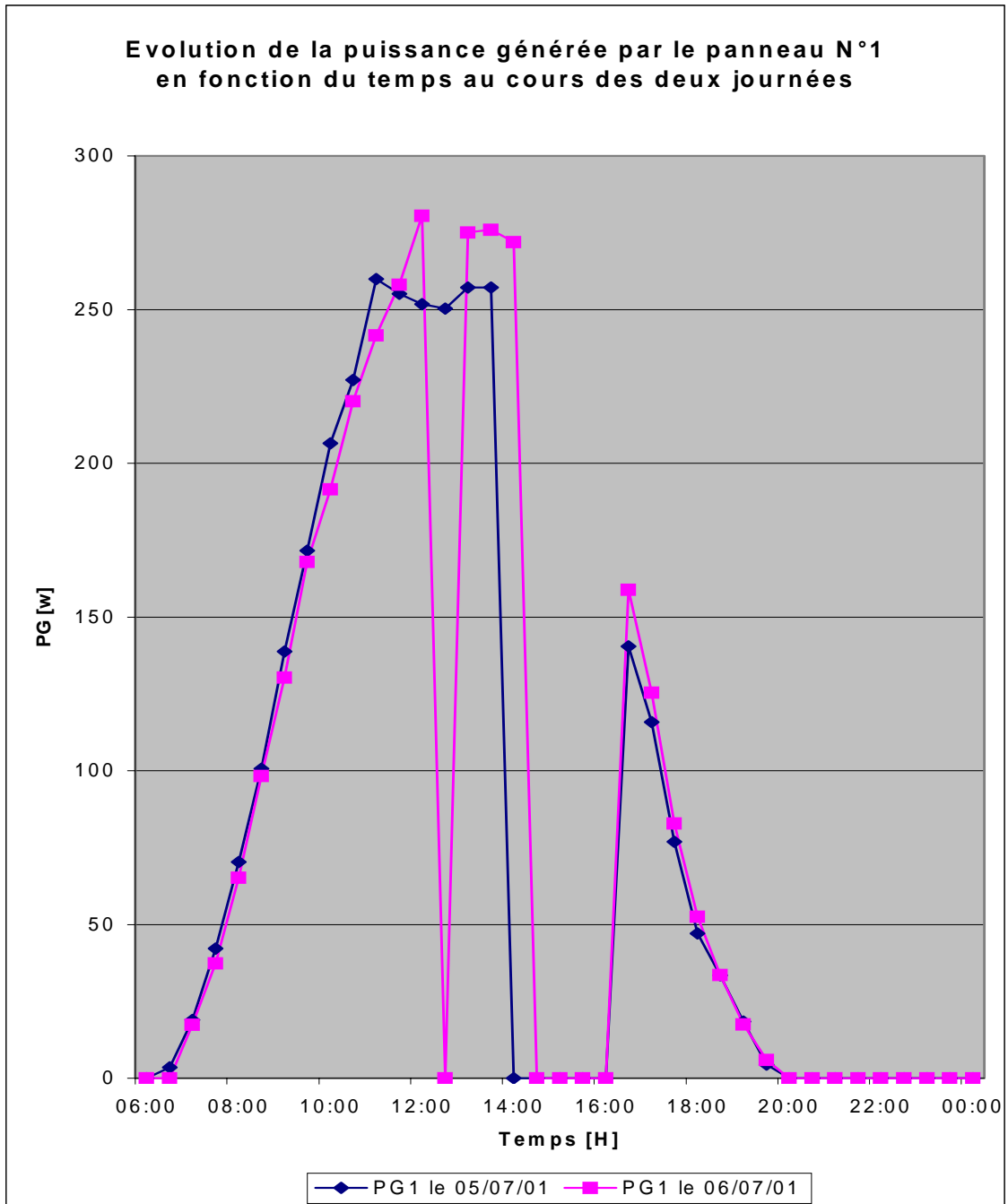


Figure 4.4(a) Evolution des puissances mesurées pour le 1^{er} générateur en fonction du temps et l'éclaircement solaire

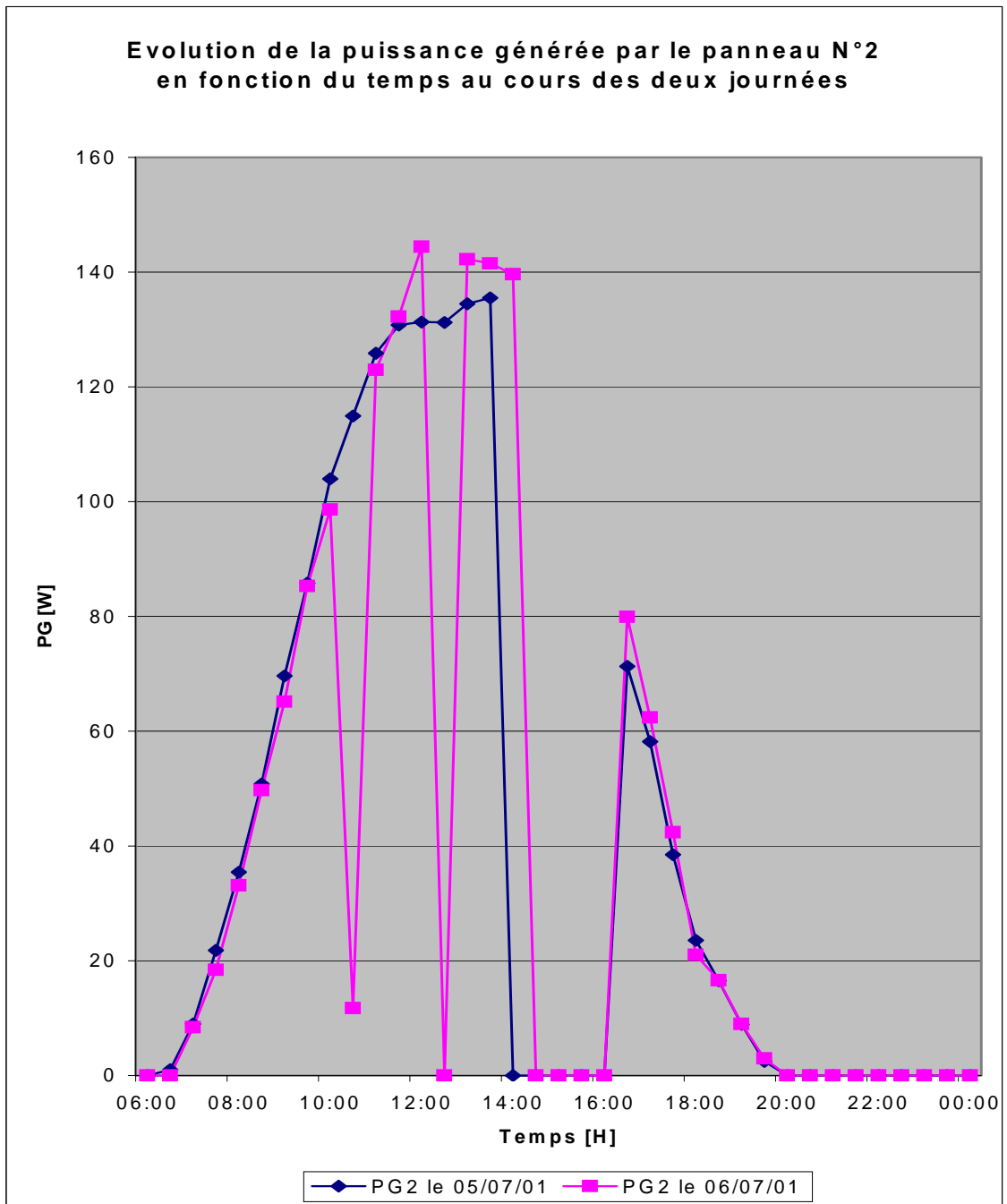


Figure 4.4(b) Evolution des puissances mesurées pour le 2^{ème} générateur en fonction du temps et l'éclairement solaire

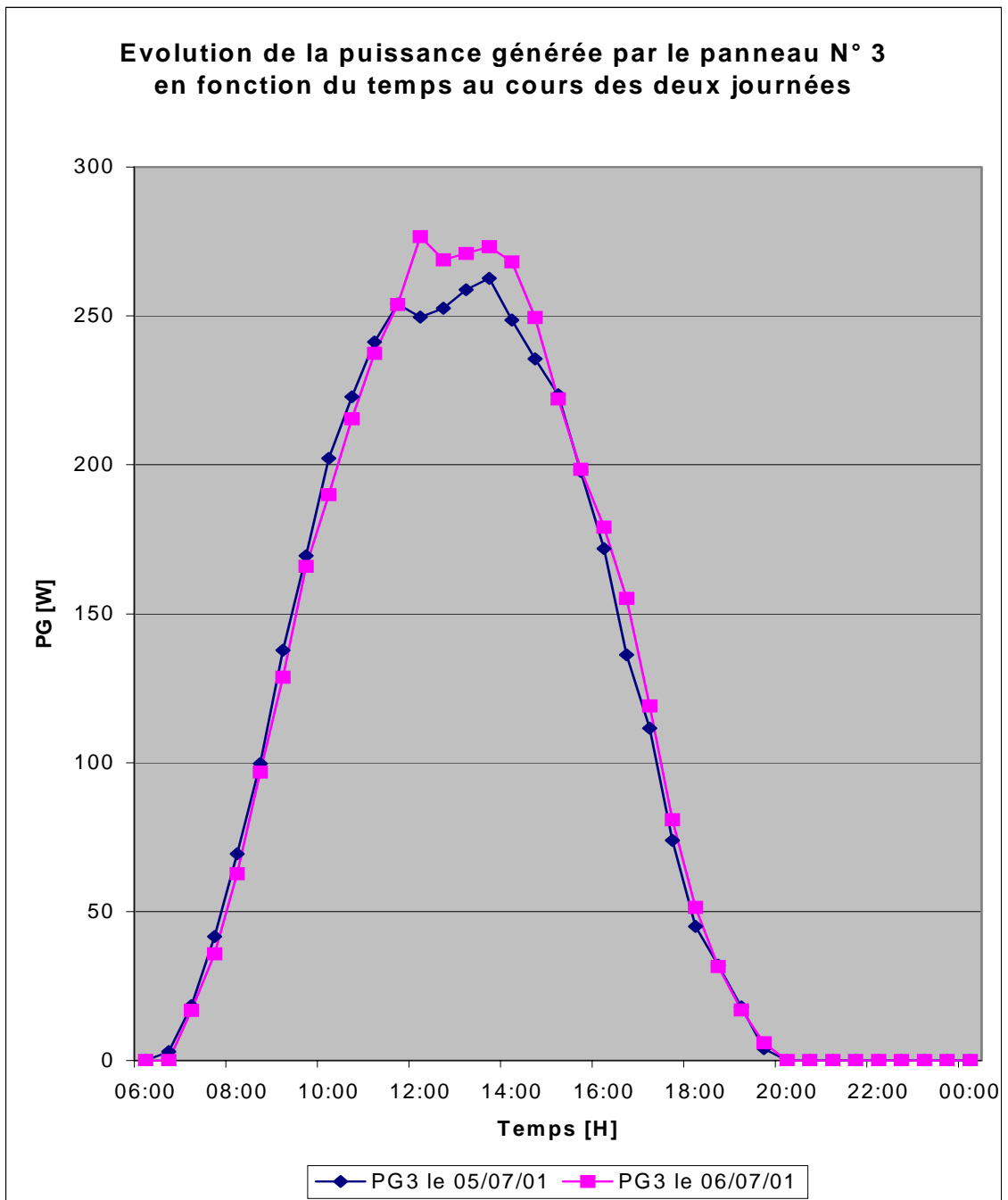


Figure 4.4(c) Evolution des puissances mesurées pour le 3^{ème} générateur en fonction du temps et l'éclairement solaire

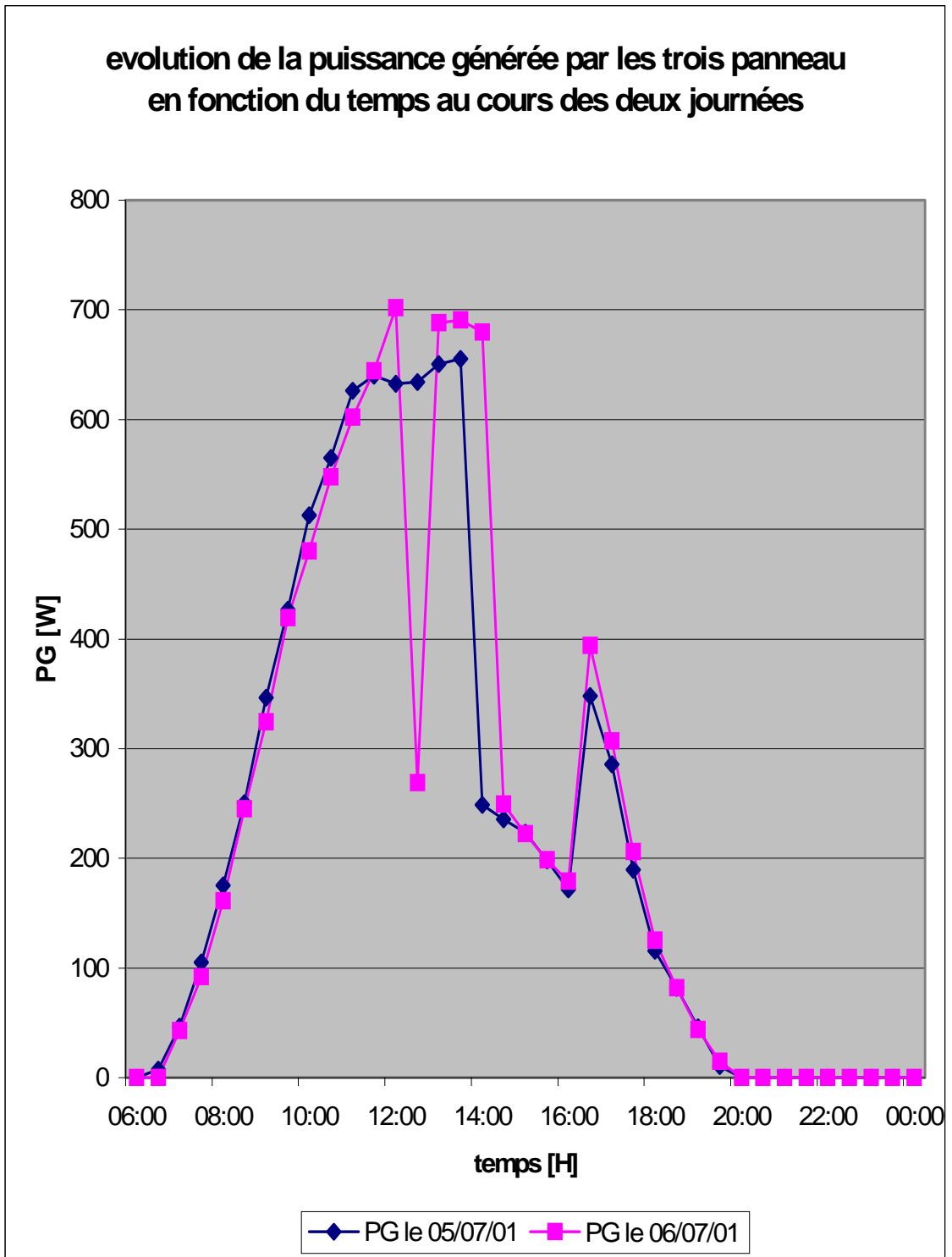


Figure 4.4 (d) Evolution de la puissance totale mesurée en fonction du temps et l'éclairement solaire

La diminution brusque des puissances développées par le générateur total qui apparaissent sur les graphes correspondent aux moments de déconnexions des générateurs solaires ($PG1=PG2=0$) reliés aux deux entrées régulées au système de régulation. Ces déconnexions sont dues uniquement à la surcharge atteinte des batteries. Pour mieux visualiser la façon suivant laquelle sont destinés les générateurs en fonction de l'état de charge, nous avons présenté sur les figures 4.5, le comportement des générateurs avec la variation de la tension aux bornes du système de stockage.

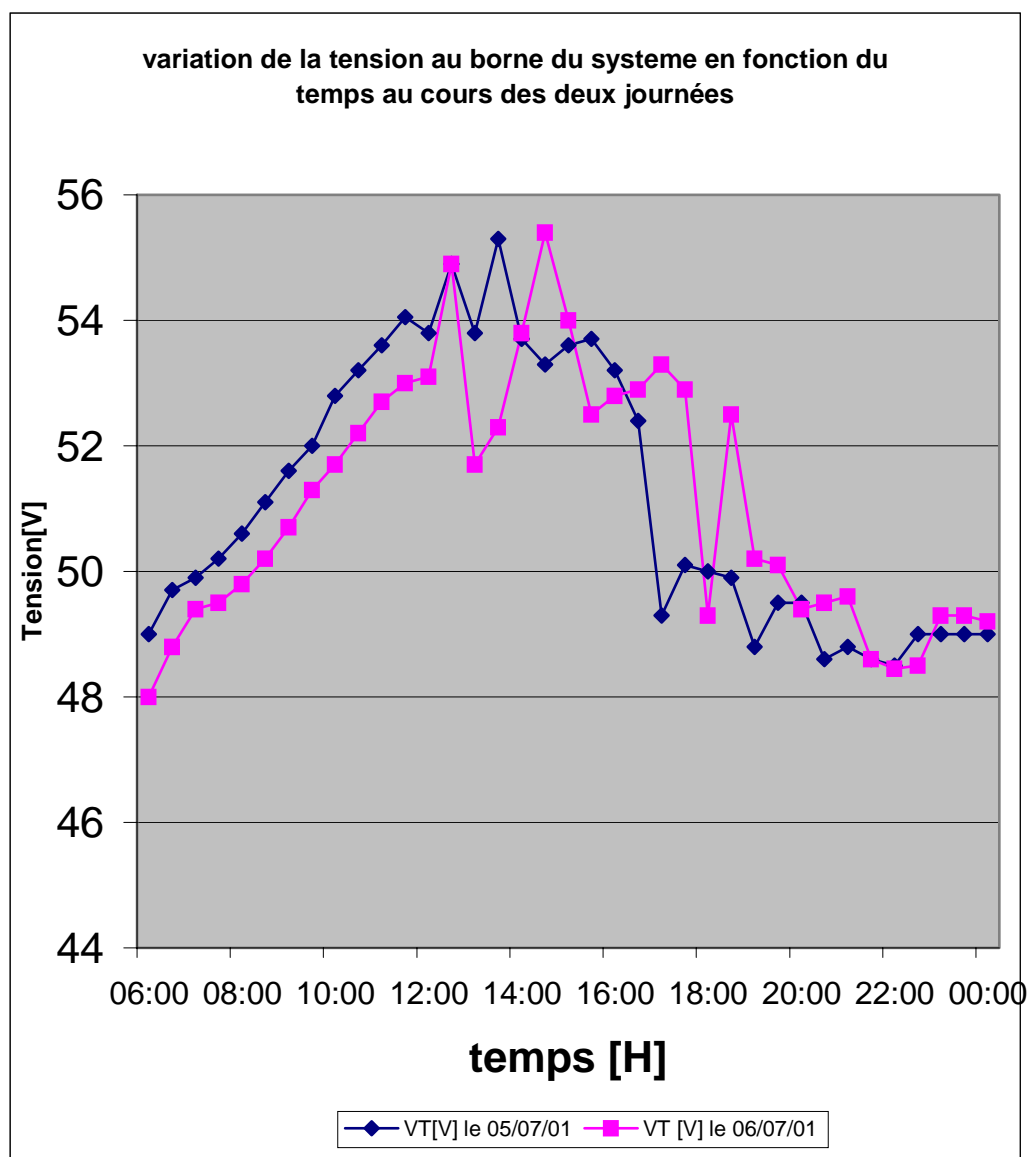


Figure 4.5 Variation de la tension aux bornes du système de stockage

Cette tension, en plus de son rôle adaptatif dans le système, porte l'information concernant l'état de charge des batteries indicateur, sur laquelle est basé le fonctionnement du dispositif de régulation.

Les fluctuations de la tension de travail du système en égard au seuil bas que peut atteindre une décharge des batteries, voire la valeur minimale atteinte le long des deux jours qui est de 48.9 v supérieure à la tension nominale indique déjà le bon fonctionnement énergétique de l'installation, si ce n'est pas un excès d'énergie disponible.

L'énergie journalière délivrée par le générateur durant chaque jour est donnée par le tableau suivant :

Tableau 4.3 Les énergies journalière produites par le générateur PV

Jours	EPj [Wh]
05/07	4211.33
06/07	4303.38

4.8.2 Rendement de conversion du générateur

Afin d'aboutir à une bonne approche du rendement réel du générateur, nous avons considéré que ce rendement est comme étant une moyenne des rendements instantanés obtenus le long de la journée l'exception des instants où les trois générateurs ne sont pas tous connectés (le rendement durant ces instants ne concerne que la branche connectée)

Les rendements instantanés sont calculés par la relation suivante :

$$\eta_c = G(t_i) / G(\beta, t_i) * A_g \quad (4.13)$$

Avec

$\eta_c(t_i)$: Le rendement du générateur à l'instant t_i

$G(t_i)$: La puissance fournie par le générateur à l'instant t_i

$G(\beta, t_i)$: L'éclairement incident sur la surface du générateur photovoltaïque à l'instant t_i .

A_g : La surface totale du générateur, $A_g = 8.514 \text{ m}^2$

Le tableau 4.4 représente les rendements instantanés du générateur total qui sont calculés à partir des puissances mesurées des générateurs photovoltaïques pour les deux jours d'expérimentation.

Le rendement moyen du générateur est calculé par l'équation suivante :

$$\eta_{Gm} = \sum \eta_{Gi} / N \quad (4.14)$$

Où

N: Le nombre des rendements instantanés pris en compte lors du calcul.

Les rendements moyens journaliers du générateur photovoltaïque calculés sont de même ordre de grandeur (voir tableau 4.5).

Tableau 4.4 les rendements instantanés

05/07/01				LE 06/07/01			
HEURES	G(β ,ti) [W/m ²]	G(ti) [W]	η_G [%]	HEURES	G(β ,ti) [W/m ²]	G(ti) [W]	η_G [%]
07H00	60	46.41	9,1	07H00	0	42.57	-
07H30	120	104.92	10,3	07H30	60	91.63	18,0
08H00	204	175.08	10,1	08H00	120	161.14	15,8
08H30	300	250.39	9,8	08H30	192	244.88	15,0
09H00	408	346.24	10,0	09H00	294	324.21	13,0
09H30	504	426.92	10,0	09H30	384	419.29	12,8
10H00	612	512.69	9,9	10H00	486	480.24	11,6
10H30	714	564.98	9,3	10H30	576	547.55	11,2
11H00	792	626.05	9,3	11H00	708	602.08	10,0
11H30	846	639.69	8,9	11H30	780	644.10	9,7
12H00	900	632.7	8,3	12H00	840	701.62	9,8
12H30	912	634.09	8,2	12H30	900	268.8	3,5
13H00	912	650.44	8,4	13H00	912	688.29	8,9
13H30	900	655.30	8,6	13H30	912	690.79	8,9
16H30	420	347.93	9,7	16H30	516	393.89	9,0
17H00	312	285.58	10,8	17H00	456	306.82	7,9
17H30	240	189.31	9,3	17H30	300	206.07	8,1
18H00	144	115.73	9,5	18H00	216	124.95	6,8
18H30	114	82.00	8,5	18H30	138	81.83	7,0
19H00	66	45.49	8,1	19H00	108	43.59	4,7
19H30	18	10.74	7,0	19H30	60	14.82	2,9

Tableau 4.5 Les rendements moyens journaliers du générateur PV

Jours	η_G %
05/07	9.09
06/07	9.30

Pour mettre en évidence l'incidence indésirable de la température des cellules sur le rendement de conversion du générateur, nous avons traduit les rendements instantanés.

Calculs (réels) aux condition standard STC) en moyen des relations suivantes (relation liant le rendement à la température cellule)

$$\eta_{G0} = \eta_G / (1 - \gamma_T(T_c - 25)) \quad (4.15)$$

$$T_c = T_a + \frac{TONC - 20}{800} G(\beta) \quad (4.16)$$

γ_T : Coefficient de variation du rendement en fonction de la température cellule .nous l'avons fixé à 0.004 % /°C

η_{G0} : Rendement du générateur sous les conditions standard

Par raison de simplicité, le calcul a été rapporte au premier jour et uniquement à la période de fort ensoleillement avec un pas d'une heure.

Sur le tableau 4.6 sont donnés les rendements ainsi calculés et les paramètres utilisés

Tableau 4.6 Variation du rendement en fonction de la température des cellules

Heures	08H30	9H30	10H30	11H30	12H30	13H30	16H30
T_a [°C]	23	26	28	28	30	31	29
T_c [°C]	27	34	38	45	47	48	36
η_G [%]	10.0	10.3	10.3	11.1	8.2	8.5	9.7
η_{G0} [%]	10.8	11.7	12.2	13.7	10.2	10.7	12.6

L'allure de la fonction rendement- température cellules, obtenue à partir des valeurs ci-dessus $\eta_G = f(T_c)$ est tracée sur la figure 4.5.

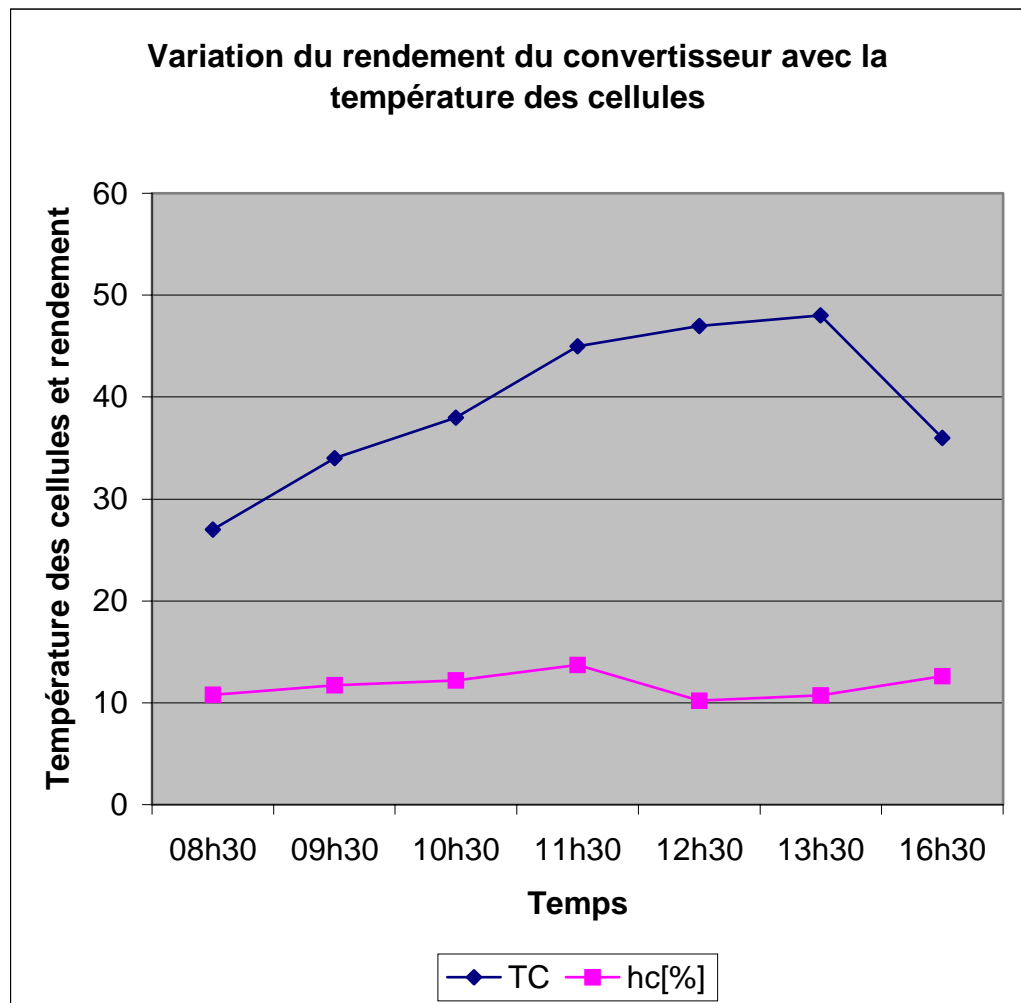


Figure 4.6 Variation du rendement du système avec de la température des cellules

4.8.3 Système de stockage

L'étude quantitative de la charge et de la décharge du système de stockage permet de prendre une décision sur l'état de fonctionnement en terme énergétique de toute l'installation photovoltaïque. Pour cela, nous allons décrire l'évolution en puissance de la charge et décharge et donner quelques chiffres concernant les quantités d'énergies stockées et restituées pour chaque jour.

Les graphes présentés sur les figures 4.7 (a.b) illustrent le déroulement en temps de la charge (représentée par des valeurs positives) et de la décharge (partie négative) le long des deux jours.

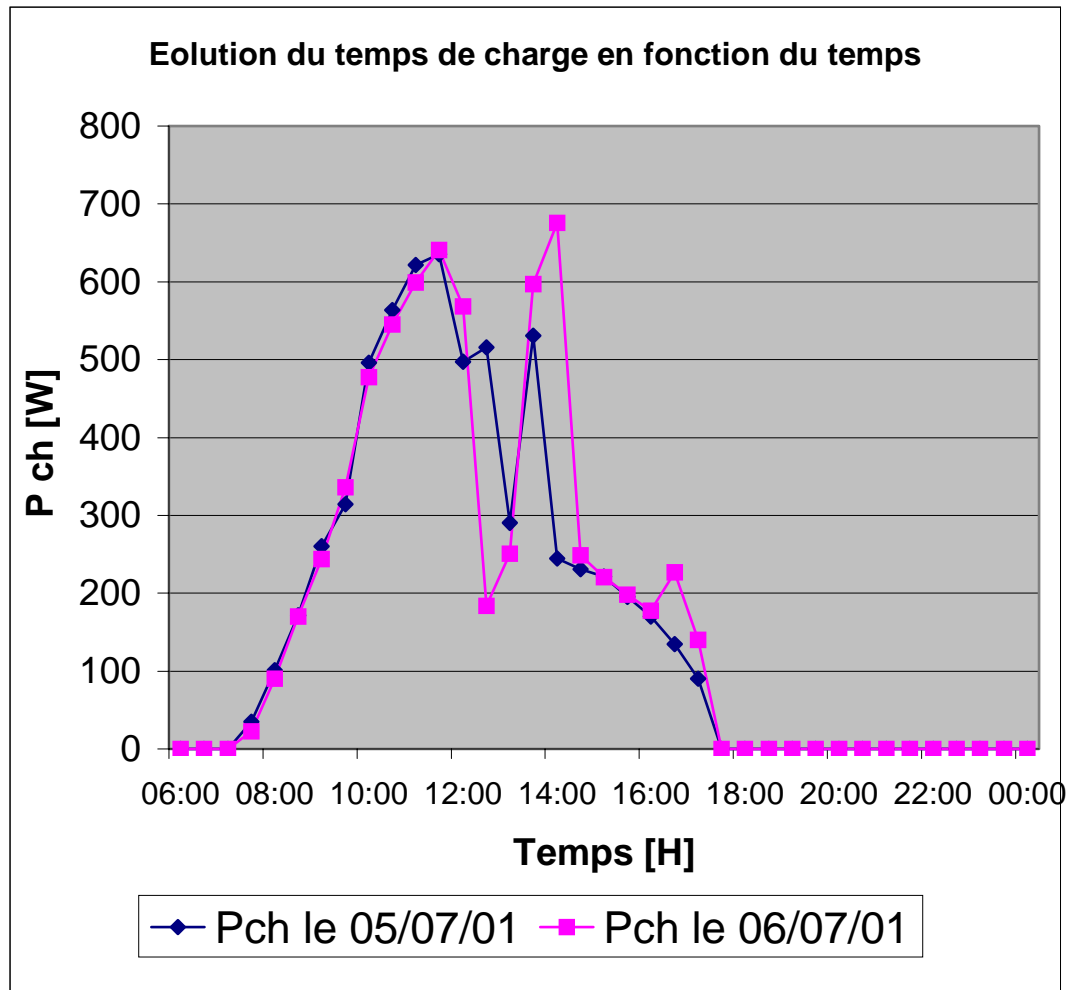


Figure 4.7 (a) Evolution du temps de charge du système de stockage

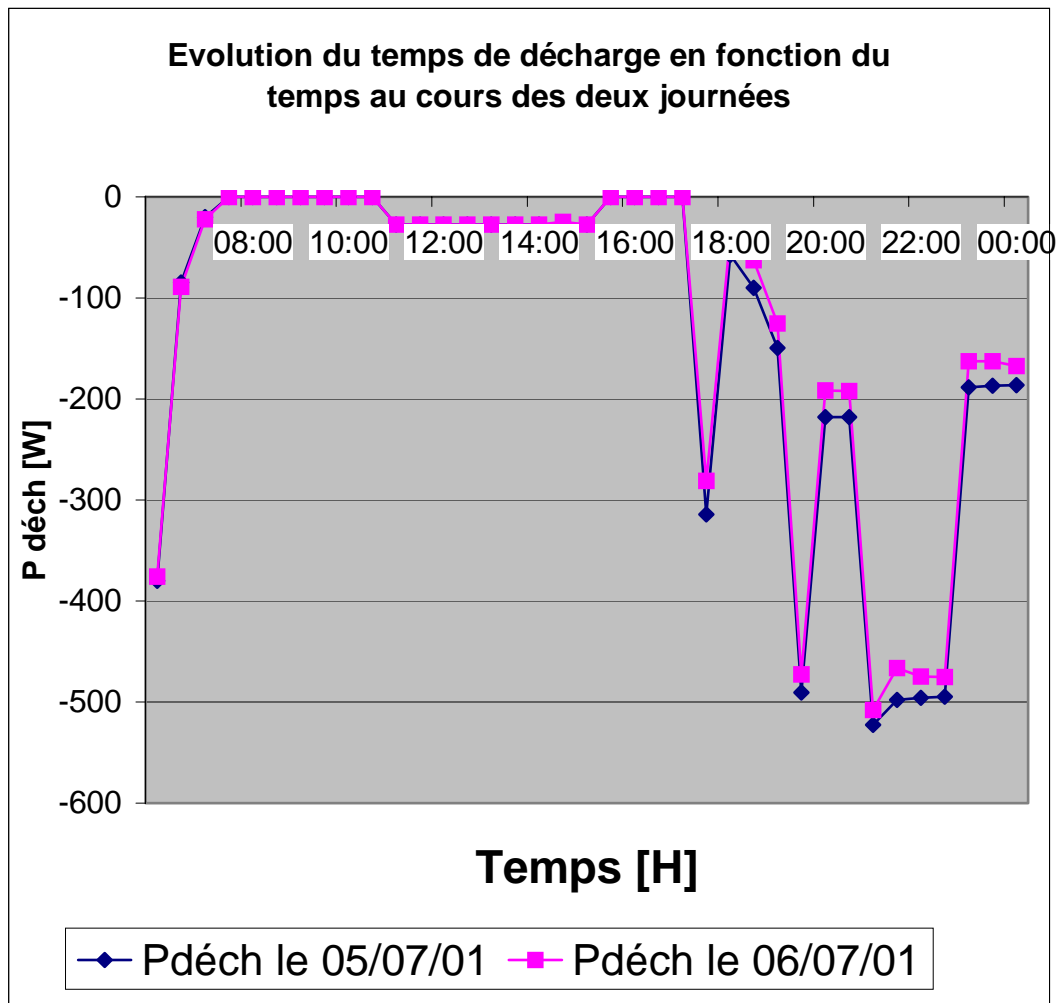


Figure 4.7 (b) Evolution du temps de décharge du système de stockage

Dans les deux cas de figures, on constate que la charge commence à 7h30, qui correspond à un éclairage faible de 100 W/m^2 , cet effet positif est du essentiellement à la faible consommation que nous avons envisagé pour cette période. Avec la croissance de l'éclairage, donc du courant produit par le générateur (intensité du courant impose a la charge des batteries), le rythme de charge des batteries continue à croître et ceci malgré qu'il existe des moments correspondant a une demande d'énergie plus ou moins considérable par l'utilisateur (surtout entre 12h00 et 13 h00). Tandis qu'on remarque aussi des périodes de fort ensoleillement durant laquelle apparaît un déclin de puissance de charge (courant de charge), du à l'excès d'énergie fourni par le générateur devant celle que peut stocké le système de stockage.

En effet, l'instant où commence ce déclin indique la surcharge des batteries. Autrement dit, c'est l'instant où le système de stockage à récupérer toute l'énergie qui a préalablement restituée (la consommation précédente).

En ce qui concerne le rythme de charge est lié exclusivement à celui de production d'énergie par le générateur, du moins pour le profil de consommation envisagé [19].

À partir de 17h30 (période de faible et sans ensoleillement), l'approvisionnement en énergie des consommateurs est satisfaite directement par le système de stockage. Ainsi le rythme de cette restitution décharge d'énergie est imposé par celui de la consommation (puissance demandée par l'utilisation via l'onduleur).

Néanmoins, on aperçoit une décharge constante des batteries qui a lieu entre 11h00 et 15h00, due à l'énergie extraite par le ventilateur, qui est branché directement aux bornes des batteries.

Pour avoir une idée fixe sur l'état énergétique du système, nous avons quantifié (voir tableau 4.7) l'énergie et la capacité stockée et restituée dans le tableau 4.7, ainsi que le rendement de ce système pour chaque jour.

Tableau 4.7 Les quantités journalières de l'énergie et de capacité stockées et restituées par la batterie et leurs rendements.

Jours	Eschj [Wh/J]	Es déchj [Wh/J]	Cschj [Ah]	Csdéchj [Ah]	Imax ch [A]	Imax déch [A]	ηb %
05/07/01	3165.43	2282.54	59.44	48.03	11.75	10.75	72.1
06/07/01	3306.12	1998.64	62.26	44.68	12.07	10.45	60.5

Avec, Imax ch et Imax dech sont les courants maximaux respectivement de charge et de décharge atteints le long de la journée. Les valeurs obtenues, comparées à la gamme d'intensités du courant permises (inférieure à C/10), indique le bon déroulement des rythmes de charge et de décharge.

ηb: Le rendement du système de stockage est pris égal au rapport de l'énergie restituée sur celle stockée. Une utilisation optimale de la charge permettra une bonne amélioration de celui-ci.

Si l'on considère que seulement une profondeur de décharge de 50 % est autorisée par le système de stockage installé, c'est à dire qu'on a $320 \times 50\% = 160$ Ah de la capacité

qui peut être extraite. Alors, on constate qu'il y a une faible exploitation de cette capacité, qui est de l'ordre de 30%, ceci sans tenir compte de la capacité chargée. Ces chiffres justifient le nombre de jours d'autonomie obtenu expérimentalement (1.5 Jours).

Les constatations déduites des graphes 4.7 (a . b) et du tableau 4.7, voire le surplus de l'énergie produite par le générateur devant celle stockée par les batteries (déconnexions des générateurs pendant la période de fort ensoleillement) et de la capacité restituée devant celles qui peuvent être chargées, permet de concevoir que le photovoltaïque est surdimensionné devant la charge utilisée, du moins devant le profil de consommation envisagé et de la période considérée.

4.8.4 Régulateur de charge- décharge

Le régulateur a été testé au laboratoire (test à vide) avant et après son incorporation dans le système (test en charge), par l'utilisation d'une alimentation stabilisée à la place des batteries.

Cependant, durant son utilisation dans le système, nous avons remarqué un changement des seuils.

Dans une première déduction, il paraît que cette désadaptation est provoquée par la forme du signal (tension) fourni par le système de stockage, voir le taux d'ondulations (tension de bruit) et la vitesse de variation de cette tension et la chute de tension causée par les pertes occasionnées à l'intérieur du régulateur.

Remarque

Cette panne se manifeste plus pendant la période non ensoleillée (l'énergie consommée est fournie exclusivement à partir du système de stockage) que l'autre, sous les effets suivants:

- Une augmentation brusque de l'intensité du courant demandée par l'utilisation, comme exemple l'allumage des néons.
- le branchement du multimètre aux bornes, à l'entrée du régulateur.

4.8.5 Convertisseur CC/AC

L'expérimentation du convertisseur consiste essentiellement à décrire son comportement en fonction du pourcentage de la puissance nominale utilisé et des types des charges alimentées.

Les figures 4.8 (a-b) montrent les variations de la puissance à l'entrée du convertisseur en fonction de celle imposée à la sortie, pour chaque jour.

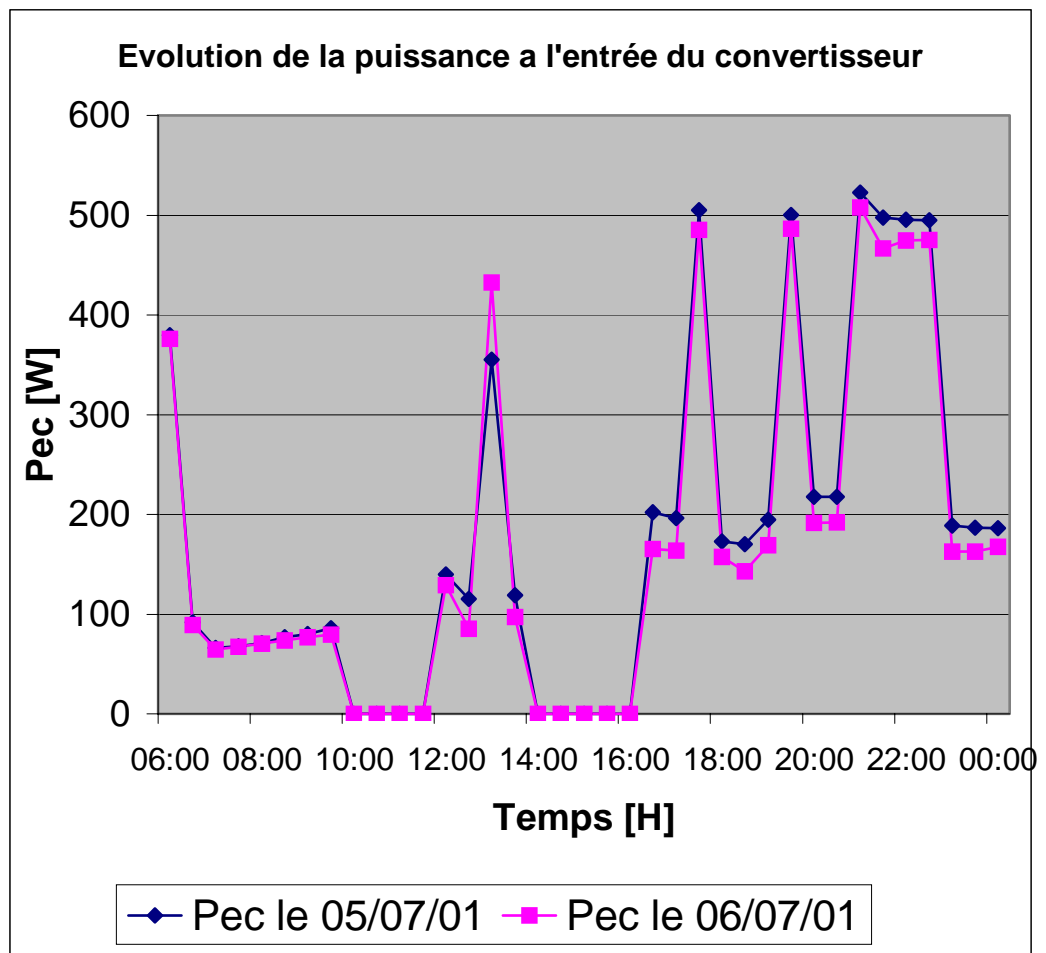


Figure 4.8 (a) Evolution de la puissance à l'entrée du convertisseur

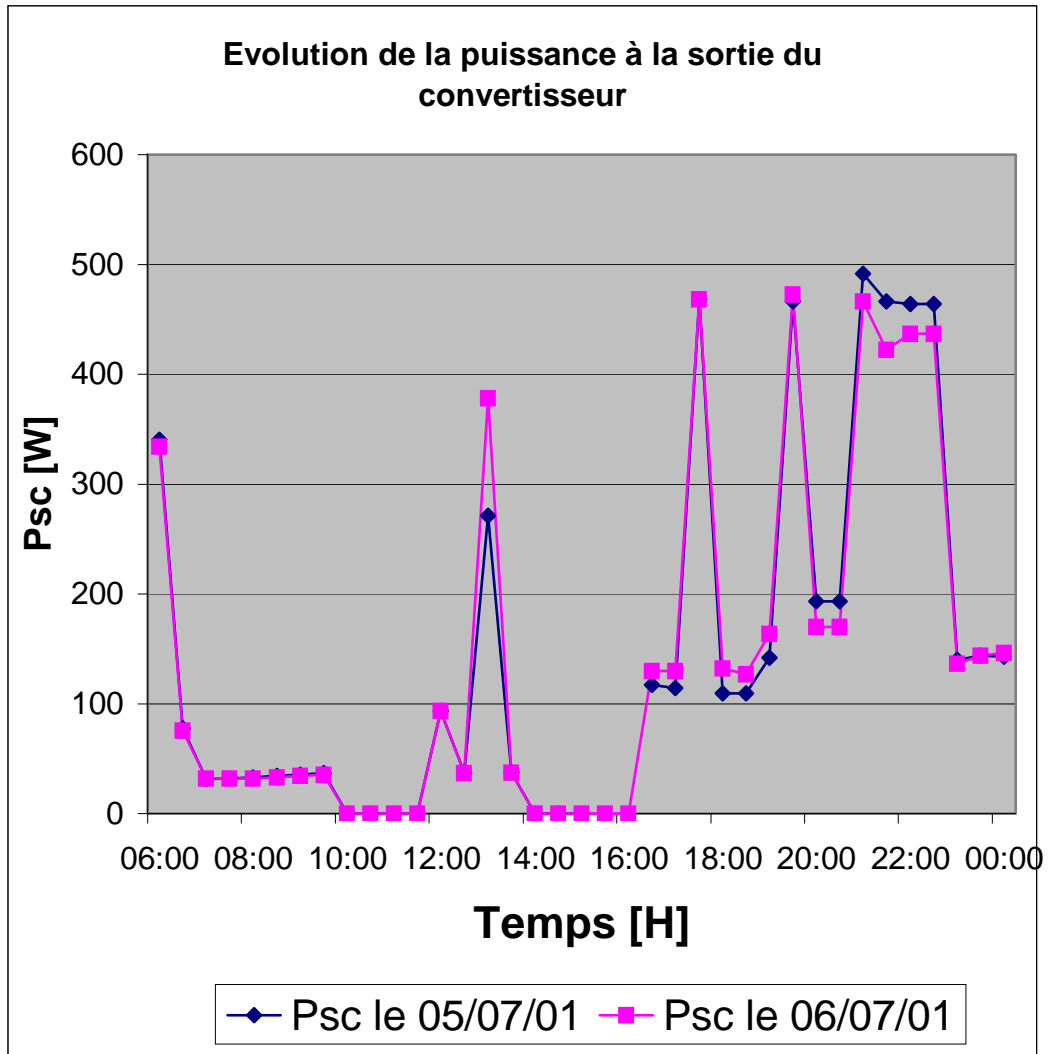


Figure 4.8 (b) Evolution de la puissance à la sortie du convertisseur

L'espacement entre les deux graphes traduit les pertes en puissance occasionnées au niveau du convertisseur. Autrement dit, plus cet espacement est important, plus le rendement est médiocre.

On remarque que l'espacement entre ces graphes est appréciable pour des puissances d'utilisations inférieures à 100 W (20 % P_{nc}). D'où, le rendement bas du convertisseur à faible charge.

Remarque

Le terme « espacement » se rapporte à l'expression suivante

$$P_{ec} - P_{sc} = (1 - \eta_c) \cdot P_{ec} \quad (4.17)$$

Tableau 4.8 Variation du rendement de l'onduleur avec le pourcentage de charge

Psc/Pnc %	3	11	13	20	40	50
Pcs	6	22	26	40	80	100
η_c	40	78	85	88	90	93

Où

P_{sc} / P_{nc} = la puissance à la sortie du convertisseur/ la puissance nominale du convertisseur

η_c le rendement estimé du convertisseur pour un pourcentage de charge résistive et inductif .

Pour mieux visualiser le comportement du convertisseur, nous avons représenté sur la figure 4.9, les variations instantanées de son rendement avec la puissance d'utilisation durant les deux journées.

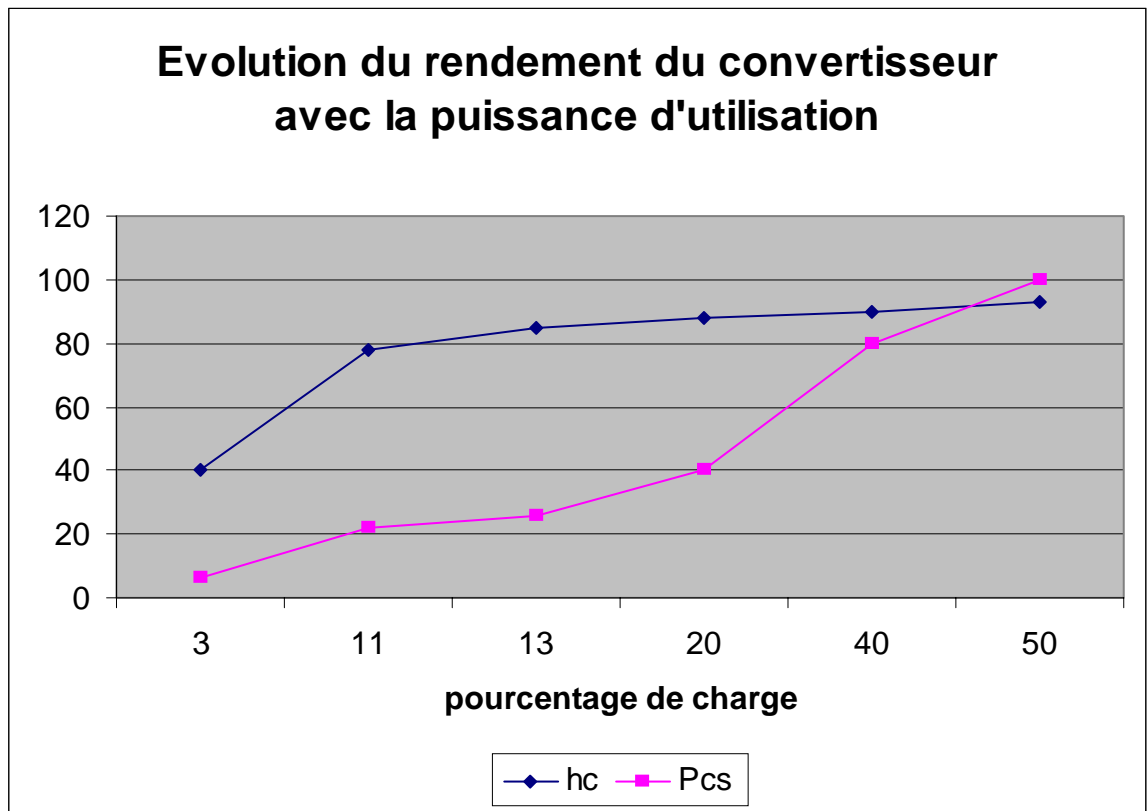


Figure 4.9 variation du rendement instantané du convertisseur en fonction de la puissance d'utilisation

Ajoutons, que la cause majeure de la perte d'énergie, d'ailleurs n'est pas importante, est due aux faibles charges (<10% Pnc) envisagées durant certaines périodes.

Du point de vue types des charges utilisées, on a constaté qu'il y'a:

- Une influence du téléviseur (TVC) sur la forme du signal (carré 220 V) délivrée, due au mauvais couplage du transformateur du convertisseur avec celui du TVC.
- Une consommation importante des néons, qui avoisine 30 V.
- Elle atteint 45 watts quand le TVC est allumé (la distorsion du signal à entraîner un sur échauffement de l'inductance des néons).

Pour y remédier; il est préférable d'utiliser un TVC possédant une alimentation à découpage et d'incorporer à l'entrée de chaque néon une capacité (capacité de filtrage), afin de limiter les distorsions du signale et de diminuer la consommation des néons.

Le rendement moyen journalier du convertisseur a été déterminé par le rapport entre l'énergie journalière (Eecj) reçue à l'entrée sur celle (Escj) délivrée à l'utilisation (voir tableau 4.9).

Tableau 4.9 Bilan énergétique autour du convertisseur

Paramètres	Eecj [Wh/j]	Escj [Wh/j]	η_{mc} [%]
05/07	3046.47	2522.67	82.8
06/07	2970.14	2533.05	85.2

Remarque

Il est claire que le convertisseur a donner une satisfaction parfaite du point de vue son rendement énergétique néanmoins, pour une commercialisation ultérieure de celui-ci ,il est recommandé d'ajouter les fonctions suivantes :

- Une protection contre les surcharges
- Auto-extinction du convertisseur en dehors des heures d'utilisation.

4.8.6 Pertes

Comme a été prévu, l'utilisation des câbles (des liaisons générateurs- batteries) de 1.5 mm au lieu de 2.5 mm de diamètre, étant le siège des pertes d'énergie supplémentaires importantes.

Pour donner une idée sur l'ordre de grandeur de ces pertes, nous avons relevé, pour un instant donné, les valeurs des intensités du courant parcourant les trois câbles des liaisons générateurs- batteries (I_{pb}), les tensions aux bornes de chaque générateur (V_{bp}) et de la tension de travail du système (V_t). Ces valeurs sont écrites sur le tableau suivant:

Tableau 4.10 Valeurs des mesures de tension et d'intensité qui parcourt les différents câbles et générateur.

Paramètres	P1	P2	P3
I_{pb}	5.05	2.61	5.06
V_{bp}	54.35	52.4	53.8
V_t	51.1	51.1	51.1
ΔV	3.25	1.3	2.7

D'où, pour un instant donné, les pertes en lignes sont estimées à 33.46 W, qui sont presque équivalentes à la production de la puissance d'un module.

Rappelons que le générateur (2) a été réduit à 04 modules. Le courant maximal que peut débiter ce générateur est presque la moitié des autres générateurs (G1 et G3). Cette réduction a été bénéfique du point de vue limitation des pertes. En effet, les pertes occasionnées par cette liaison générateur (2) –batteries représentent seulement 10% des pertes totales.

Alors, une minimisation de ces pertes nécessite obligatoirement une utilisation des câbles de 2.5 mm de diamètre pour les liaisons des générateurs (1) et (2) au système de stockage.

Néanmoins, ils existent d'autres pertes dues à la non classification des modules selon leurs caractéristiques électriques (I_m - V_m - P_m). Ces pertes sont inqualifiables, mais

on peut les minimisées par un critère sévère de sélection des modules [19], afin que chaque branche contiendra des modules de caractéristiques aussi identiques que possible.

4.8.7 Bilan et rendement énergétiques globaux du système photovoltaïque

Après avoir étudié le comportement de chaque élément, constituant le système sous les divers sollicitations, nous avons établi le bilan énergétique global de l'installation. Ceci afin de savoir quantitativement comment a été effectué la transformation, le stockage et le transport de source (rayonnement solaires) aux consommateurs d'énergie[20].

L'élaboration du bilan global de toutes les énergies prises en considération sont présentées sur le tableau 4.11.

Tableau 4.11 Le bilan énergétique global de l'installation PV.

Jours	E G(β)j [Wh]	EpGj [Wh]	E schj [Wh]	E sdé chj [Wh]	Eecj [Wh]	Escj [Wh]
05/07	6513	4211.32	3165.43	2282.54	3046.47	2522.67
06/07	6435	4300.38	3306.64	1998.64	2970.14	2533.05

le rendement global du système η_{GS} est égal à l'énergie consommée (sortante) sur celle reçue sur le plan du générateur solaire (entrante), on a ,

$$Escj = \eta_G * \eta_r * \eta_b * \eta_c * G(\beta, t_i) \quad (4.18)$$

Donc, le rendement η_{GS} n'est autre que le produit des rendements des divers éléments constituant le système [20].

$$\eta_{GS} = \eta_G * \eta_r * \eta_b * \eta_c \quad (4.19)$$

Les rendements de tous les sous système ainsi que le rendement global du système tout entier sont représentés dans le tableau 4.12.

Tableau 4.12. Le rendement global de l'installation PV

	η_G %	η_r %	η_s %	η_c %	η_{GS} %
05/07/01	9.09	85	72.1	82.8	4.8
60/07/01	9.30	85	60.45	85.2	4.2

4.9 Conclusion

Le rendement global de l'installation photovoltaïque peut être amélioré avec une meilleure utilisation de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque. En effet, nous avons constaté une déconnexion des générateurs solaires durant les périodes de fort ensoleillement et il n'y avait aucune utilisation de la capacité chargée au préalable.

Le bon comportement du système de stockage, voire son rendement, indique l'efficacité des opérations suivant lesquelles les batteries ont été chargées et installées [21, 22, 23].

La quantité d'énergie non développée à cause de la déconnexion des générateurs photovoltaïque est estimée à 1Kwh, laquelle est équivalente à la consommation journalière d'un TVC.

En égard à la quantité d'énergie disponible, nous prévoyons qu'une utilisation du réfrigérateur s'avère, très faisable le, du moins durant la période considérée (l'été).

Pourvu qu'il y'aura une exploitation optimale du générateur PV et du système de stockage. Autrement dit, il faudra d'une part rentrer en action la branche de 04 modules du générateur (2), qui a été réduite à cause de l'indisponibilité du nombre nécessaire des batteries, et d'autre part élargir au maximum le réservoir d'énergie comme à été prévu au dimensionnement.

Du point de vue stockage d'énergie et dans la mesure du possible, nous pensons qu'une extension du système de stockage permettra de récolter le maximum d'énergie développée par le générateur photovoltaïque (pour éviter au maximum les déconnexions des générateurs) [24]. Ainsi, nous pouvons tolérer d'éventuel abus de consommation durant la période d'été d'une part et d'autre part de minimiser les risques de pénurie durant les saisons caractérisées par un faible ensoleillement (l'hiver). Ainsi donc, la récupération d'énergie est maximale durant les périodes d'absence de la famille en question (visite, invitation, etc.) [25].

CHAPITRE 5

ETUDE ECONOMIQUE

5.1 Introduction

Notre pays est en pleine phase de transition consistant en un passage d'une économie planifiée à celle du marché libre, où les prix seront indexés à la compétence et à la concurrence acharnées entre les investisseurs pour maximiser leurs gains.

Dans un tel marché, l'étude économique du projet est indispensable afin de bien sélectionner les champs d'applications du solaire photovoltaïques qui offrent la meilleure rentabilité par rapport aux autres solutions conventionnelles.

En égard à ce qu'aucune solution ne peut être viable qui ne recueille l'adhésion de toutes les parties intéressées, il est nécessaire, dès maintenant, et avant de s'engager sur un tel marché, de chercher les moyens de sensibiliser le grand public et le gouvernement algériens sur la viabilité des systèmes solaires et en particulier photovoltaïques.

Pour cela, avant de citer les intérêts qui peuvent être apportés par une exploitation de la solution solaire photovoltaïque destinée à l'électrification des habitations isolées, nous allons tenter de maîtriser le coût de revient total de l'installation .

5.2 Coût total de l'installation électro-solaire

Pour le calcul du coût de revient de l'habitat électro-solaire, nous avons supposé que notre organisme SONELGAZ RD, ne prend aucune marge bénéficiaire sur les produits achetés ou produits. C'est à dire que son souci et intérêt majeurs est le développement et la maîtrise de la technologie des systèmes solaires.

Ainsi, le calcul du coût total de l'installation de l'énergie photovoltaïque tient en compte le coût des différentes dépenses relatives au générateur photovoltaïque et son

installation, le coût du stockage électrochimique, équipement nécessaires pour la régulation et la conversion CC/AC (48V/220V 50 Hz) et enfin les frais de l'étude et de la main d'œuvre [27 et 28]. Les équipements du système photovoltaïque sont achetés par la Sonelgaz durant l'année 1996 et ils sont représentés dans les tableaux 5.1, 5.2, 5.3 et 5.4

Tableau 5.1 : Générateur photovoltaïque et accessoires

Désignation	Quantité	Prix Unitaire TTC (DA)	Prix Total TTC (DA)
Modules PV UDTS-50	20	14520.00	290400.00
Boulons de D=06 mm	60	24.00	1440.00
Boite de dérivation électrique	03	60.00	180.00
Sac de ciment	01	387.00	387.00
Cornière en aluminium en « L »	50 mètres	145.00	7250.00
câble de D=1.5 mm	20 mètres	36.00	720.00
Câble de D=2*1.5 mm	80 mètres	42.00	3360.00
Total		15214.00	303737.00

Tableau 5.2 : Stockage électrochimique et accessoires

Désignation	Quantité	Prix Unitaire TTC (DA)	Prix Total TTC (DA)
Batterie 6V,160 Ah	16	3630.00	58080.00
Cosse pour connexion	48	24.00	1152.00
Câble de D=2.5 mm	20 mètres	48.00	960.00
Total		3702.00	60192.00

Tableau 5.3 : Equipement électronique de régulation et de conversion CC/AC

Désignation	Quantité	Prix Unitaire TTC (DA)	Prix Total TTC (DA)
Convertisseur CC/AC 48V/220V	01	42350.00	42350.00
Régulateur de charge	01	9680.00	9680.00
Total		52030.00	52030.00

Tableau 5.4 : Equipements supplémentaires pour l'habitation

Désignation	Quantité	Prix Unitaire TTC (DA)	Prix Total TTC (DA)
Lampes incandescentes 60 W	04	45.00	180.00
Lampes fluorescentes 18 W	05	35.00	175.00
Boîtes dérivations	05	60.00	300.00
Compteur d'énergie	01	847.00	847.00
Disjoncteur 32A	02	14520.00	29040.00
Prises et interrupteurs	12	45.00	540.00
Câble de D=3*1.5mm	18	54.00	972.00
Total		15606.00	32054.00

Le montant des dépenses équivalent à l'étude et la réalisation (visite sur site, temps consacré à l'étude et la main d'œuvre), et qui doit être versé à la SONELGAZ RD à titre d'honoraire est estimé à 20000.00 DA.

Ainsi, le coût total du système photovoltaïque correspondant à l'alimentation d'une habitation par l'énergie solaire photovoltaïque est évalué à une somme de 435959.00.35 DA avec TTC.

Nous considérons que l'installation électrique de la maison (équipement d'usages énergétiques), devra être prise en charge complètement par le propriétaire, du moins ce dernier pourra bénéficier, préalablement, des recommandations concernant les types d'équipements qu'il devra utiliser, et tout concernant les types d'équipements qu'il devra utiliser.

5.3 Discussion et impacts économiques

Le coût total de cette installation est relativement élevé pour le simple citoyen et pour minimiser le coût de revient, il est nécessaire d'optimiser parfaitement le fonctionnement énergétique du système tout entier. C'est-à-dire, que la puissance crête du générateur photovoltaïque et la capacité de stockage des batteries seront optimisées et juste nécessaires pour la satisfaction des besoins énergétiques de l'intéressé. Ceci requiert un savoir faire qui ne peut être acquis qu'à partir d'une expérience fondée sur un suivi de longue durée du fonctionnement de l'installation, laquelle devra être entre les mains de l'attributaire.

Le tableau 5.5 représente le coût total et la répartition des coûts de différents composants du système photovoltaïque. Les résultats de la distribution des coûts représentés sur la figure 5.1 mettent en évidence les contraintes économiques causées par le générateur photovoltaïque qui représente 66.61 % du coût total de l'installation. L'utilisation des batteries pour le stockage électrochimique représente 13.81 %, le système de régulation et conversion (11.93%) et enfin le coût de l'installation du système photovoltaïque total représente 7.65 %.

Tableau 5.5 : Coût total et distribution des coûts de l'installation photovoltaïque

Désignation	Total TTC (DA)	Répartition (%)
Générateurs PV	290400.00	66.61
Régulation & Conversion CC/AC 48V/220V 50 Hz	52030.00	11.93
Stockage électrochimique	60192.00	13.81
Installation & Etude et main d'œuvre	33337.00	07.65
Total	435959.00	100.00

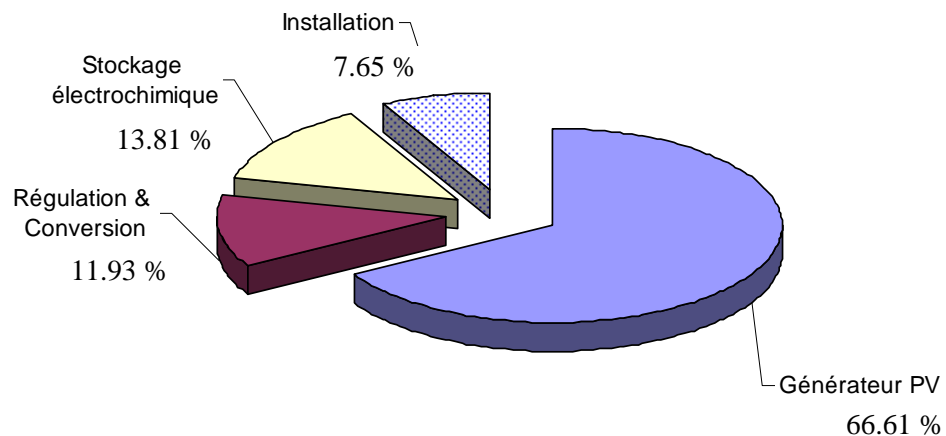


Figure 5.1 : La distribution des coûts de l'installation photovoltaïque

En première analyse, l'énergie solaire photovoltaïque ne peut être exploitée à grande échelle, du moins à moyen terme, du fait des contraintes macroéconomiques et stratégiques auxquelles elle se heurte d'une part et de la disponibilité d'un potentiel en gisement

d'énergie traditionnelle important dans notre pays d'autre part. Cependant, si l'on se plaçant sur les différents plans suivants :

Les problèmes en égard à l'électrification en Algérie actuellement :

Le nombre d'habitats et de points dans les régions déjà électrifiées ne bénéficiant pas d'une ligne électrique, indique qu'il y a un taux d'insuffisance d'électrification en profondeur. La superficie accrue non encore électrifiée dans notre pays, donne signe d'un faible taux d'électrification en surface par le réseau électrique national.

Concernant les perspectives actuelles de développement de notre pays :

En effet, la politique actuellement adoptée par le gouvernement algérien qui vise à :

- Exploiter l'agriculture dans les zones sahariennes.
- Promouvoir une politique permettant la construction des centaines de milliers de ménages.
- Lancer les secteurs industriel et touristique.
- Assurer une sécurité sévère au niveau des frontières, et en particulier celles du sud.

Toutes ces grandes lignes du programme économique gouvernemental ne peuvent être atteintes sans une exploitation massive rationnelle de l'électrification en profondeur et en surface.

Nous comprenons que des progrès peuvent être obtenus pour l'exploitation de l'électrification en profondeur, par contre, une exploitation de l'électrification en surface pour les zones sahariennes possédant des potentialités agricoles énormes et les postes frontières de sécurité et surtout si l'on ajoute à cela que ces zones et postes se trouvent dispersés sur le plan géographique, coûtera très cher ou ne risque jamais d'être électrifiés à moyen terme.

En égard au faible niveau de consommation énergétique et l'éparpillement qui caractérisent la population et les services en question, nous prévoyons que leur approvisionnement énergétique ne pourra être économique que par une électrification décentralisée.

Alors, il semble qu'il y a là un marché du solaire photovoltaïque et d'ailleurs même thermique, qui s'avère compétitif et rentable face aux autres solutions alternatives, voire les groupes électrogènes à fuel bruyant à maintenance contraignante et polluant. Nous comprendrons davantage, si l'on apprécie les gros avantages offrant ces systèmes photovoltaïque, citons entre autre :

- la disposition d'une forme d'énergie très polyvalente capable de répondre à une pluralité de besoins de base (le présent projet est là pour témoigner).
- la grande autonomie et modalité leurs permettra d'être installés à n'importe quel endroit et dans l'immédiat, pour répondre à une demande variable.

Cependant, la faiblesse de l'épargne de ces sites et les difficultés de sa mobilisation par des intermédiaires financiers (CNEP-BNA-BADR, etc...) et les moyens de communication devant le coût élevé à l'accession de ces systèmes, nécessite une intervention de l'état. Lequel, garant de l'intérêt national, pourra promouvoir une politique tarifaire cohérente visant à créer des lignes de crédits avec des taux incitatifs.

Bonifiés et/ou subventionner pour certains cas le financement des projets d'électrification par le solaire photovoltaïque.

En tenant compte de la situation économique national actuelle, il semble qu'il existe une possibilité d'intervention de l'état à court terme. Ceci, par la mise en vigueur d'une politique tarifaire issue d'une analyse macroéconomique qui facilite l'accès de l'électrification électro-solaire photovoltaïque dans les sites écartés, tout en offrant le meilleur rapport coûts -avantages.

Une telle analyse peut se faire en traitant les grandes lignes suivantes successivement :

- Sélectionner tout les sites écartés du réseau électrique national et possédant des potentialités économique importantes (agriculture : nappe phréatique relativement forte, terrain à vocation agricole, -touristique : paysages et richesses monumentales, etc...).
- Sélectionner ceux dont la rentabilité économique du photovoltaïque face aux autres solutions alternatives est appréciable.

- Sélectionner les besoins à satisfaire en priorité, dans ce sens on peut proposer les priorités suivantes :

Besoins à intérêts socio-économiques

- Eclairage public et des établissements scolaires.
- Pompage d'eau.
- Conditions d'hygiène.
- Habitats électro-solaire pour les autorités et responsables.

Besoins à intérêt stratégiques

- implantation des moyens d'information et de communication.

Besoins à intérêt individuels (productifs)

- Alimentation des industriels de faible puissance.
- Eclairage des locaux commerciaux et des intermédiaires financiers.

CONCLUSION

Le travail présenté dans cette étude comprend deux étapes distinctes :

- La première réservée exclusivement à une analyse théorique poussée sur les systèmes photovoltaïques, laquelle nous a permis de maîtriser les différentes phases de la conception et du dimensionnement de l'habitat électro-solaire considéré. En effet, nous avons abouti à un dimensionnement minutieux et complet tenant compte de toutes les recommandations utiles et nécessaires (conditions les plus défavorables, etc.).
- La seconde étape était consacrée à la mise en service et à l'expérimentation du système photovoltaïque ainsi conçu et dimensionné.

Les plus importants composants (générateur photovoltaïque et système de stockage) ont été installés d'une manière aussi adéquate que possible. Ainsi, des mesures strictes ont été prises pour assurer une grande sûreté durant le fonctionnement du système photovoltaïque (protection, isolation, etc....).

Les résultats issus de l'expérimentation nous ont permis de conclure que le convertisseur a donné d'excellents résultats du point de vue fonctionnement et rendement. Nous recommandons seulement l'utilisation des télévisions équipées d'une alimentation à découpage et l'intégration de condensateurs, pour le filtrage du signal, à l'entrée des charges inductives. Ceci, afin d'économiser l'énergie et satisfaire aux exigences d'un meilleur confort.

Le rendement total moyen du système complet est d'environ 4.5% lequel pourra s'améliorer lorsque la consommation sera optimale (autour de 0.5KW). La température élevée des modules photovoltaïques, durant les forts ensoleillements, a induit une réduction du rendement de conversion du générateur par effet joule. Une diminution de 3% a été constatée

pour une température avoisinant 48°C. Pour minimiser cet effet défavorable, une aération naturelle via un certain éloignement entre modules et une surélévation des structures par rapport au sol est vivement recommandée.

Egalement, la classification des modules par l'utilisation d'un dispositif de charge variable électronique en vue de les associer en séries dans chaque branche selon leur caractéristiques au point de puissance optimale. Utilisation d'une structure mobile, équipée des positions prédéfinies pour les inclinaisons saisonnières, améliore certainement la production énergétique du générateur photovoltaïque et par la suite le rendement de l'installation.

L'électrification des habitations à l'aide de l'énergie photovoltaïque est la solution idéale dans les régions enclavées et éloignées du réseau conventionnel. L'utilisation de cette énergie propre à grande échelle ne peut se faire qu'avec une politique tarifaire incitative et par un programme gouvernemental sur l'électrification rural à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque.

D'une manière générale et en tenant compte de notre modeste expérience, l'optimisation de l'habitat électro-solaire en question, en vue de répondre à un meilleur rapport commodités-coût, nécessite plus d'expérience dans ce domaine et, surtout, un suivi assidu et continu à long terme.

En tenant compte des résultats de ce mémoire, nous proposons les orientations de recherche pouvant faire l'objet d'investigations ultérieures suivantes:

- Connexion au réseau conventionnelle avec ou sans batteries.
- Utilisation d'un système hybride PV-Eolien.

REFERENCES

- [1] T. Fogelman et R. Montiloin. Installations Photovoltaïque dans l'habitat isolés. C-Y . Chaudoreille - Edisaud, Aix- en -Provence, (1983).
- [2] A Hadj Arab. Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque de faible puissance. Thèse de magister, CDER , ALGER,(1989).
- [3] Y. Kame Khouzam.the load matching approach to sizing photovoltaic systems with short-term energy storage. Solar Energy, 53 :403-409p, (novembre 1994).
- [4].Bernard Equer. Energie solaire photovoltaïque Vol 1, physique et technologie de la conversion photovoltaïque. Ellipses éditions marketing et UNSCO (1993).
- [5] M. Buresch. Photovoltaic Energy System design and installation. Mc Graw Hill Book Company, (1983).
- [6] M. Iqbal. An introduction to solar irradiation. Academic Press. Toronto. 390p. (1983).
- [7] E. Lorenzo. Electricidad solar. Ingeniera de los sistemas fotovoltaicos. Progensa. Sevilla. 338p. (1994).
- [8] F. Frutos, V. Ruiz et J. Gutierrez. Correlation between the solar diffuse and global radiation for Madrid. Revue Internationale d'Héliotechnique 1^{er} semestre, 7-12p. (1985).
- [9] J.E. Hay et D.C. McKay. Estimating solar irradiance on inclined surfaces: a review and assessment of methodologies. Int. Solar Energy, 3: 203-240p (1985).

- [10] D.S.H.Chan, J.R Philips and J.C.H. Phang. A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters. *Solid State Electronics*, Vol.29, N° 3, 329-337p. (1986).
- [11] A. Hadj Arab, F. Chenlo, K. Mukadam and J.L. Balenzategui. Performance of PV Water Pumping systems. *Renewable Energy*, Vol.18, N°2 pp 191-204 (1999).
- [12] International Electrotechnical commission IEC.. Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices. Publication 891 15p. (1987).
- [13] I.Hadj Mohamed. Modélisation du générateur photovoltaïque. Thèse de magister, CDER , ALGER,(2002).
- [14] B.D.Bedford, R.G.Hoft, « Pricipales of Inveter Circuits». Wiley, New York, 1964.
- [15] P.Longrigg, « DC to AC Inveters for photovoltaics », *Solar Cells*, n°6, PP 343-356. 1982.
- [16] S.Ould Amrouche, « Etude et réalisation d'un système de conditionnement de puissance pour installation photovoltaïque », Thèse de Magistère en électronique, USTHB, N° d'ordre: 03/2001- M/EL, 2001.
- [17] T. FOGELMAN. Systèmes photovoltaïques pour les pays en développement Ministère des relations extérieures. Coopération et développement, Septembre (1982).
- [18] W. PALZ l'électricité solaire Programme solaire, commission des communautés Européennes UNESCO, DUNOD, (1980).
- [19] M. ORGERET Les piles solaire, le composant et ses applications MASSON, (1985).

- [20] R.C. NEVILLE Solar energy conversion. The Solar cell. Elsevier, (1978).
- [21] R. J. VANOVERSTRAETEN / R. P. MARTENS, Physics technology and use of photovoltaics. Adam Hilger Ltd, BRISTO, (1986).
- [22] Engnering design hand book for stand alone photovoltaic system. Monegon Rapport. N M. 108, November (1980).
- [23] C.M. Signal analytical expression for the series restance dependent maximum power. Solar cells. N°3,(1981).
- [24] R. DUMON. Energie solaire et stockage d'énergie MASSON, 2^{ème} édition , (1980).
- [25] J.C McVEIGH Sun power and introduction to the applications of solar energy. Brighton polytechnic, England, (1977).
- [26] Asia-Pacific Edition Tech publications PTE. LTD.Up-To- DATE World's Transistors- Diodes-Thyristors et IC's Comparison Tables A. Z. Volume 1.(1996).
- [27] A.Hamidat. Simulation of the performance and cost calculations of the surface pump. Renewable Energy 18 (1999). pp:383-392.
- [28] A.Hamidat, A.Hadj Arab, F.Chenlo et M.A.Abella. Performance and Costs of the Centrifugal and Displacement Pumps. World Renewable Energy Congress V. Florence (Italy). 20-25 September. 1998.

ANNEXE

Liste des composants utilisés pour la réalisation de l'onduleur :

- R1 :220 Ω (rouge- rouge -marron).
- R2 : 220 Ω (rouge-rouge-marron)
- R3: 220 Ω (rouge-rouge-marron)
- R4: 220 Ω (rouge-rouge-marron)
- R5:470 k Ω (jaune-violet -jaune).
- R6:2.2 k Ω (rouge-rouge-rouge)
- R7:2.2 k Ω (rouge-rouge-rouge)
- R8:220 k Ω (rouge-rouge-marron)
- R9:470 k Ω (jaune -violet- jaune).
- R10:470 k Ω (jaune-violet -jaune).
- P1:220 k Ω ajustable
- C1: 4.7 Nf (jaune- violet-rouge).
- C2: 10 Nf (marron- noir-orange).
- C3:10 μ F /25 V chimique
- C4:2200 μ F/25 V chimique.
- D1:BY 255
- D2:BY255
- D3:BY255
- D4: BY 255
- D5:BZX46/6.2V
- T1:2N1613
- T2:2N1613
- T3:BDX18

- T4:BDX18
- T5:2N3055
- T6:2N3055
- IC1:CD4049.
- Transformateur 220/12V 2A.

Tableau Caractéristiques techniques des transistors utilisés.

TYPE	DEVICE	SHORT DESCRIPTION	
BZX 46/6.2	Z-Di	2.7....200v,5%,0.5 W	
BY 255	Si-di	BY251/1300W	
2N3055	SI-N	S.50V.1A.1W<35/50ns	
2N1613	SI-N	S.60V.1A.1W>100Mz	
BDX 118	SI-P	BDX 92 :100v	

Tableau 1 Evolution des différents paramètres dans les trois panneaux en fonction de la température ambiante le 05/07/01

Heures	Tamb °C	RIG W/m2	IG1 A	IG2 A	IG3 A	IB A	Iec A	VT V	Iu A
06:00		0	0	0	0	-7,75	7,75	49	1,62
06:30	20,2	30	0,07	0,02	0,06	-1,7	1,85	49,7	0,37
07:00	21,2	60	0,38	0,18	0,37	-0,4	1,32	49,9	0,15
07:30	23	120	0,84	0,42	0,83	0,7	1,35	50,2	0,15
08:00	24	204	1,39	7	1,37	2	1,4	50,6	0,15
08:30	24,5	300	1,97	0,98	1,95	3,35	1,5	51,1	0,15
09:00	25,2	408	2,69	1,35	2,67	5,05	1,55	51,6	0,15
09:30	25,5	504	3,3	1,65	3,26	6,5	1,65	52	0,15
10:00	25,6	612	3,91	1,97	3,83	9,4	0	52,8	0
10:30	26,6	714	4,27	2,16	4,19	10,6	0	53,2	0
11:00	26,8	792	4,85	2,33	4,5	11,6	0	53,6	0
11:30	26,9	846	4,72	2,42	4,7	11,75	0	54,05	0
12:00	27	900	4,68	2,44	4,64	9,25	2,5	53,8	0,39
12:30	27,4	912	4,56	2,39	4,6	9,4	2,1	54,9	0,15
13:00	26,9	912	4,78	2,5	4,81	5,4	6,6	53,8	1,18
13:30	27,2	900	4,65	2,45	4,75	9,6	2,15	55,3	0,15
14:00	27,4	864	0	0	4,63	4,55	0	53,7	0
14:30	27,8	780	0	0	4,42	4,33	0	53,3	0
15:00	27,8	720	0	0	4,2	4,15	0	53,6	0
15:30	27,7	636	0	0	3,69	3,65	0	53,7	0
16:00	27	528	0	0	3,2	3,17	0	53,2	0
16:30	26	420	2,64	1,34	2,56	2,7	3,8	52,4	0,51
17:00	26,2	312	2,21	1,11	2,13	1,72	3,75	49,3	0,52
17:30	25,5	240	1,56	0,78	1,5	-6,45	10,25	50,1	2,23
18:00	25,4	144	0,94	0,47	0,9	-1,15	3,45	50	0,51
18:30	23,3	114	0,67	0,33	0,64	-1,8	3,4	49,9	0,51
19:00	23,2	66	0,37	0,18	0,36	-3	3,9	48,8	0,66
19:30	23	18	0,09	0,05	0,08	-10,1	10,25	49,5	2,22
20:00	0	0	0	0	0	-4,4	4,4	49,5	0,92
20:30	0	0	0	0	0	-4,4	4,4	48,6	0,92
21:00	0	0	0	0	0	-10,8	10,75	48,8	2,34
21:30	0	0	0	0	0	-10,2	10,2	48,6	2,22
22:00	0	0	0	0	0	-10,2	10,2	48,5	2,21
22:30	0	0	0	0	0	-10,2	10,2	49	2,21
23:00	0	0	0	0	0	-3,85	3,85	49	0,65
23:30	0	0	0	0	0	-3,85	3,85	49	0,66
00:00	0	0	0	0	0	-9,8	3,8	49	0,65

Tableau 2 Evolution des différents paramètres dans les trois panneaux en fonction de la température ambiante le 06/07/01

Heures	Tamb °C	RIG W/m2	IG1 A	IG2 A	IG3 A	IB A	Iec A	VT V	Iu A
06:00									
06:30	21,3	0	0	0	0	-7,7	77	48,8	1,59
07:00	23,4	0	0	0	0	-1,8	1,8	49,4	0,36
07:30	24	60	0,35	0,17	0,34	-0,45	1,3	49,5	0,15
08:00	24,4	120	0,75	0,37	72	0,45	1,35	49,8	0,15
08:30	25	192	1,3	0,66	1,25	1,8	1,4	50,2	0,15
09:00	25,2	294	1,94	0,98	1,91	3,35	1,45	50,7	0,15
09:30	25,9	384	2,54	1,27	2,51	4,75	1,5	51,3	0,15
10:00	26,5	486	3,25	1,65	3,21	6,5	1,54	51,7	0,15
10:30	26,7	576	3,67	1,89	3,64	9,15	0	52,2	0
11:00	26,8	708	4,18	2,12	4,09	10,55	0	52,7	0
11:30	26,8	780	4,56	2,32	4,48	11,3	0	53	0
12:00	27	840	4,86	2,49	4,78	12,07	0	53,1	0
12:30	27,5	900	5,11	2,63	5,04	10,35	2,35	54,9	0,39
13:00	27,6	912	0	0	5,2	3,55	1,65	51,7	0,15
13:30	27,6	912	5,26	2,72	5,18	4,8	8,27	52,3	1,72
14:00	27,7	906	5,13	2,63	5,08	11,1	1,8	53,8	0,15
14:30	27,8	852	4,91	2,52	4,84	12,2	0	55,4	0
15:00	27,7	804	0	0	4,62	4,6	0	54	0
15:30	27	708	0	0	4,23	4,2	0	52,5	0
16:00	27	618	0	0	3,76	3,75	0	52,8	0
16:30	26	516	0	0	3,38	0	53	0	
17:00	26,1	456	2,98	1,5	2,91	4,25	3,1	53,3	0,59
17:30	25	300	2,37	1,18	2,25	2,65	3,1	52,9	0,59
18:00	25	216	1,68	0,86	1,64	-5,7	9,85	49,3	2,23
18:30	24,3	138	1	0,4	0,98	-0,75	3	52,5	0,6
19:00	24	108	0,67	0,33	0,63	-1,25	2,85	50,2	0,59
19:30	23	60	0,35	0,18	0,34	-2,5	3,37	50,1	0,78
20:00	0	24	0,12	0,06	0,12	-9,57	9,85	49,4	2,25
20:30	0	0	0	0	0	-3,87	3,87	49,5	0,81
21:00	0	0	0	0	0	-3,87	3,87	49,6	0,81
21:30	0	0	0	0	0	-9,6	9,6	48,6	2,01
22:00	0	0	0	0	0	-9,8	9,8	48,45	2,08
22:30	0	0	0	0	0	-9,8	9,8	48,5	2,08
23:00	0	0	0	0	0	-3,3	3,3	49,3	0,65
23:30	0	0	0	0	0	-3,3	3,3	49,3	0,67
00:00	0	0	0	0	0	-3,4	3,4	49,2	0,68

Tableau 3 Evolution des différentes puissances dans les trois panneaux en fonction de la température ambiante le 05/07/01

Heures	PG1	PG2	PG3	PG	Pch	Pdéch	Pec	Psc
06:00	0	0	0	0	0	-380	379,8	340,2
06:30	3,479	0,994	2,982	7,455	0	-84,5	91,95	77,7
07:00	18,962	8,982	18,46	46,41	0	-20	65,87	31,5
07:30	42,168	21,84	41,67	104,9	35,14	0	67,77	32,2
08:00	70,334	35,42	69,32	175,1	101,2	0	70,84	32,7
08:30	100,667	50,78	99,65	250,4	171,2	0	76,65	34,5
09:00	138,804	69,66	137,8	346,2	260,6	0	79,98	35,25
09:30	171,6	85,8	169,5	426,9	314,6	0	85,8	36,75
10:00	206,448	104,016	202,2	512,7	496,3	0	0	0
10:30	227,164	114,912	222,9	565	563,9	0	0	0
11:00	259,96	125,888	241,2	626	621,8	-27,6	0	0
11:30	255,116	130,801	254	640	635,1	-27,6	0	0
12:00	251,784	131,272	249,6	632,7	497,7	-27,6	139,5	93,6
12:30	250,344	131,211	252,5	634,1	516,1	-27,6	115,3	37,5
13:00	257,164	134,5	258,8	650,4	290,5	-27,6	355,1	271,4
13:30	257,145	135,485	262,7	655,3	530,9	-27,6	118,9	37,5
14:00	0	0	248,6	248,6	244,3	-27,6	0	0
14:30	0	0	235,6	235,6	230,8	-27,6	0	0
15:00	0	0	223,6	223,6	221,2	-27,6	0	0
15:30	0	0	197,8	197,8	195,6	0	0	
16:00	0	0	171,8	171,8	170,2	0	0	
16:30	140,448	71,288	136,2	347,9	134,6	0	202,2	117,3
17:00	115,804	58,164	111,6	285,6	90,13	0	196,5	114,4
17:30	76,908	38,454	73,95	189,3	0	-314	505,3	468,3
18:00	47,094	23,547	45,09	115,7	0	-57,6	172,8	109,7
18:30	33,5	16,5	32	82	0	-90	170	109,7
19:00	18,463	8,892	17,96	45,9	0	-150	194,6	141,9
19:30	4,392	2,44	3,904	10,74	0	-490	500,2	466,2
20:00	0	0	0	0	0	-218	217,8	193,2
20:30	0	0	0	0	0	-218	217,8	193,2
21:00	0	0	0	0	0	-522	522,5	491,4
21:30	0	0	0	0	0	-498	497,8	466,2
22:00	0	0	0	0	0	-496	495,7	464,1
22:30	0	0	0	0	0	-495	494,7	464,1
23:00	0	0	0	0	0	-189	188,7	139,8
23:30	0	0	0	0	0	-187	186,7	143,8
00:00	0	0	0	0	0	-186	186,2	143

Tableau 4 Evolution des différentes puissances dans les trois panneaux en fonction de la température ambiante le 06/07/01

Heures	PG1	PG2	PG3	PG	Pch	Pdéch	Pec	Psc
06:00	0	0	0	0	0	-376	375,8	333,9
06:30						-88,9	88,92	75,6
07:00	17,325	8,415	16,83	42,57	0	-22,3	64,35	31,91
07:30	37,35	18,426	35,86	91,63	22,41	0	67,23	31,95
08:00	65,26	33,132	62,75	161,1	90,36	0	70,28	32,2
08:30	98,358	49,686	96,84	244,9	169,8	0	73,51	32,7
09:00	130,302	65,151	128,8	324,2	243,7	0	76,95	34,5
09:30	168,025	85,305	166	419,3	336,1	0	79,61	35,25
10:00	191,574	98,658	190	480,2	477,6	0	0	0
10:30	220,286	11,724	215,5	547,6	545,4	0	0	0
11:00	241,68	122,968	237,4	602,1	598,9	-27,6	0	0
11:30	258,066	132,219	253,8	644,1	640,9	-27,6	0	0
12:00	280,539	144,387	276,7	701,6	568,2	-27,6	129	93,6
12:30	0	0	268,8	268,8	183,5	-27,6	85,3	36,75
13:00	275,098	142,256	270,9	688,3	251	-27,6	432,5	378,4
13:30	275,994	141,494	273,3	690,8	597,2	-27,6	96,84	37,5
14:00	272,014	139,608	268,1	679,8	675,9	-27,6	0	0
14:30	0	0	249,5	249,5	248,4	-24,6	0	0
15:00	0	0	222,1	222,1	220,5	-27,6	0	0
15:30	0	0	198,5	198,5	198	0	0	0
16:00	0	0	179,1	179,1	177,6	0	0	0
16:30	158,834	79,95	155,1	393,9	226,5	0	165,2	129,8
17:00	125,373	62,422	119	306,8	140,2	0	164	129,8
17:30	82,824	42,398	80,85	206,1	0	-281	485,6	468,3
18:00	52,5	21	51,45	125	0	-39,4	157,5	132
18:30	33,634	16,566	31,63	81,83	0	-62,8	143,1	126,8
19:00	17,535	9,018	17,03	43,59	0	-125	168,8	163,8
19:30	5,928	2,964	5,928	14,82	0	-473	486,6	472,5
20:00	0	0	0	0	0	-192	191,6	170,1
20:30	0	0	0	0	0	-192	192	170,1
21:00	0	0	0	0	0	-508	507,9	466,2
21:30	0	0	0	0	0	-467	466,6	422,1
22:00	0	0	0	0	0	-475	474,8	436,8
22:30	0	0	0	0	0	-475	475,3	436,8
23:00	0	0	0	0	0	-163	162,7	136,5
23:30	0	0	0	0	0	-163	162,7	144,1
00:00	0	0	0	0	0	-167	167,3	146,2