

Conception et Réalisation d'un Système de Chauffe-eau Solaire Photovoltaïque

A. Hamidat⁽¹⁾, A. Chouder⁽¹⁾, B. Benyoucef⁽²⁾, M. Belhamel⁽¹⁾, A. Tchikou⁽³⁾ et K. Guilane⁽³⁾

⁽¹⁾ Centre de Développement des Energies Renouvelables, BP.62, Bouzaréah, Alger, E-mail: hmdab@yahoo.com

⁽²⁾ Labo. Des Matériaux & Energies Renouvelables, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

⁽³⁾ Université des Sciences de la Technologie Houari Boumediene, Bab-Ezzouar, Alger

Résumé – Aujourd'hui chauffer de l'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une application seulement expérimentale. Ce système de chauffe-eau n'utilise ni un stockage électrochimique ni un convertisseur pour convertir l'énergie continue du générateur photovoltaïque en énergie alternative. Le système démarre à très faible éclairement solaire et l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque est convertie instantanément en énergie thermique à l'aide d'un ensemble de résistance. L'eau chaude ainsi produite est stockée dans un réservoir. Cet article présente la technologie employée et décrit le contrôleur électronique du système du chauffe eau qui est piloté par un microprocesseur.

Abstract – Currently a photovoltaic solar water heating system is only under experimentation. This system does not use a battery system for storage or require an inverter to convert the direct current supplied by the photovoltaic array to an alternating current. The system operates with a low solar irradiation level. The produced electrical energy is converted instantaneously to thermal energy and delivered to storage tank that contains multiple electrical heating elements. This paper will present the technology employed and describe the microprocessor controller of the water heating system.

Mots clés : Eau – Eléments chauffants – Microprocesseur – Photovoltaïque – Réservoir d'eau – Système de chauffage

1. INTRODUCTION

Le chauffe eau étudié est un nouveau système de chauffage utilisant une source d'énergie solaire autre que l'énergie solaire thermique, cette source est l'énergie photovoltaïque. Contrairement à la majorité des applications photovoltaïques à usage domestique, ce système n'utilise pas les batteries et les convertisseurs dc/ac. Le système fonctionne pour un très faible éclairement solaire, et l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque est convertie instantanément en énergie thermique à l'aide d'un ensemble de résistances dans le réservoir. L'eau chaude ainsi produite est stockée dans le réservoir pour une utilisation immédiate ou ultérieure. Les éléments de ce chauffe eau photovoltaïque sont un générateur photovoltaïque, un système de mesure et de contrôle et enfin un réservoir d'eau équipé d'éléments chauffants (résistances).

2. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion d'énergie solaire incidente en énergie électrique par effet photovoltaïque [1]. 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 (solaires) généralement montées en série. Le courant I produit par un module photovoltaïque est représenté par l'équation suivante [2, 3]:

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

où :

$$V_t = \frac{kT_j}{q} \quad (2)$$

Avec: I courant du module PV [A], V tension du module PV [V], I_L photocourant [A], I_0 courant de saturation [A], q charge de l'électron [$1.6 \cdot 10^{-19}$ C], K constante de Boltzmann [$1.38 \cdot 10^{-23}$ J/°K], A facteur d'idéalité relative au module, T_j température de jonction [°K], R_s résistance série et R_{sh} résistance shunt [Ω].

3. SYSTEME DE MESURE ET DE CONTROLE

La fonction principale du système de contrôle et de mesure est d'assurer une très bonne optimisation de la charge (éléments chauffants) avec le générateur photovoltaïque [4, 5]. La deuxième fonction est de connecter les éléments chauffants au réseau conventionnel (220 V AC) dans le cas d'une insuffisance d'éclairement solaire. Le schéma synoptique de ce système est représenté dans la figure 1.

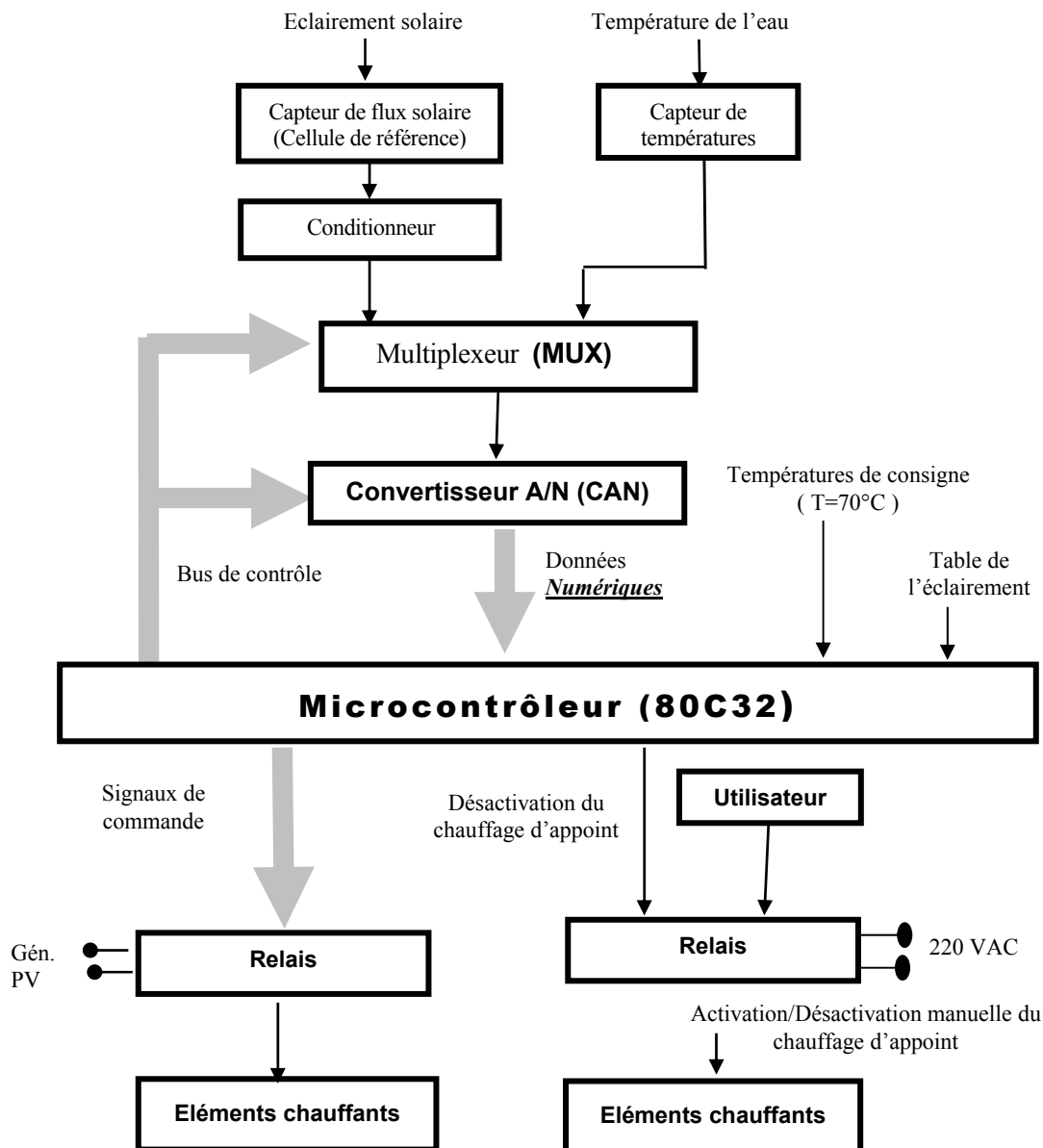


Fig. 1: Schéma synoptique général du système de contrôle et de mesure

3.1. Système de mesure

Les Capteurs : Le circuit de mesure est formé essentiellement de deux capteurs. Le premier est pour l'éclairage solaire et le deuxième est pour la température de l'eau. La mesure de l'éclairage est assurée par une cellule photovoltaïque calibrée, exposée à la même condition que le générateur photovoltaïque, afin de donner une image réelle de l'éclairage incident sur ce dernier. D'autre part, la mesure de la température de l'eau est assurée par un thermocouple de type K. La mesure de la température de l'eau est nécessaire dans le cas d'utilisation du réseau conventionnel (220 Volts AC)

Circuit de Conditionnement : Les circuits de conditionnement ont pour rôle d'adapter les impédances des capteurs à l'entrée du convertisseur analogique numérique, et éventuellement le filtrage et l'amplification des signaux issus de ses capteurs.

Le multiplexeur : Le rôle du multiplexeur dans la chaîne de mesure est d'aiguiller les mesures différées dans le temps des deux signaux issus des capteurs de température et de l'éclairage solaire.

Le Convertisseur Analogique Numérique : Le convertisseur analogique numérique assure une transcription numérique des signaux issus des capteurs afin d'être traité par le micro-contrôleur.

3.2. Système de contrôle

Le système de contrôle et de mesure est basé sur le microcontrôleur 80C32 de la famille MCS-51. Le microcontrôleur est chargé, en permanence, de fournir les signaux de commande au réseau de relais qui connecte

les résistances chauffantes pour un but d'optimiser la charge à la puissance maximale du générateur photovoltaïque en fonction de l'éclairement et la température de jonction. Étant donné qu'il est impossible d'avoir une résistance optimale pour chaque valeur d'éclairement, alors nous avons subdivisé l'éclairement solaire en plusieurs intervalles. Chaque intervalle est associé à une valeur de résistance qui peut être obtenue par une configuration préétablie de connections des résistances en parallèle.

3.3. Système de chauffage d'appoint

Un système de chauffage d'appoint est prévu dans le cas d'une insuffisance de rayonnement solaire. L'utilisateur a le choix d'activer ou désactiver le chauffage d'appoint à l'aide d'un bouton poussoir. Si ce chauffage reste activé trop longtemps, le microcontrôleur le désactive dès que la température de l'eau du réservoir atteint une valeur de consigne égale à 70°C ; ceci nécessite donc l'emploi d'un capteur thermique immergé dans le réservoir pour mesurer la température de l'eau.

4. RESERVOIR D'EAU ET ELEMENTS CHAUFFANTS

Le réservoir isolé thermiquement est équipé de deux groupes d'éléments chauffants (résistances). Les éléments chauffants qui sont alimentés par l'énergie photovoltaïque sont placés dans la partie inférieure du réservoir. Par contre, les résistances du chauffage d'appoint sont alimentées par le secteur 220 Vac et elles sont placées dans la partie supérieure du réservoir (figure 2).

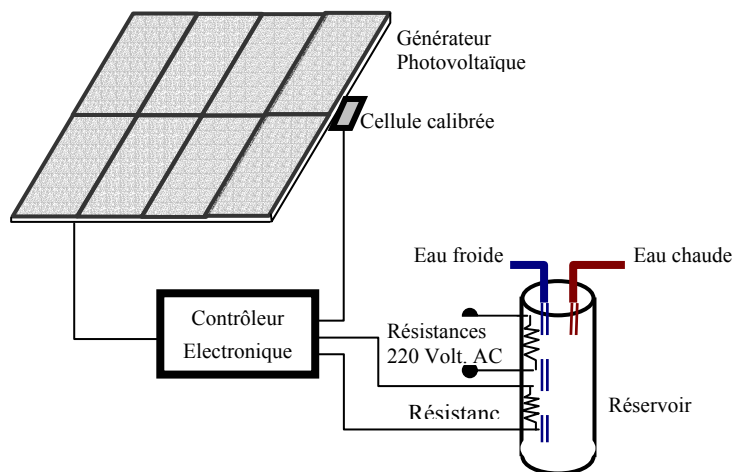


Fig. 2: Schéma général du chauffe eau solaire photovoltaïque

5. RESULTATS ET DISCUSIONS

Un prototype du système de mesure et de contrôle est réalisé pour le chauffe eau photovoltaïque, figure 3. Ce dispositif, qui est l'élément principal du chauffe eau, est composé de cinq cartes électroniques qui sont les suivantes :

- Une carte principale constituée d'un bloc CPU et son environnement conventionnel à savoir : le microcontrôleur 80C32, une mémoire de données, une mémoire de programme ainsi que les composants associés standards. Un circuit de mesure qui permet l'acquisition des paramètres physiques à savoir le flux lumineux ainsi que la température de l'eau du réservoir, puis la conversion de ces signaux analogiques en valeurs numériques manipulables par le microcontrôleur. Un circuit de conditionnement du signal issu du capteur de l'éclairement solaire. Il a pour rôle de filtrer et réduire la tension délivrée par ce capteur afin que la donnée numérique, provenant du convertisseur analogique-numérique correspondant à cette tension, ne soit pas erronée.
- Une carte secondaire dite à bouton poussoir permettant d'activer le chauffage d'appoint lorsque le bouton est enfoncé et de le désactiver, soit lorsque l'utilisateur aura ré-appuyer dessus, soit par programmation lorsque la température de l'eau aura atteint la température de consigne 70°C.
- Une carte contenant les circuits de contrôle des relais.
- Une carte d'alimentation délivrant des tensions continues de +12VDC et +5VDC.
- Une carte d'alimentation délivrant des tensions continues de -5 ; 0 ; +5 VDC.

Les valeurs des résistances, qui correspondent à optimiser le générateur photovoltaïque à la charge, sont déterminées à l'aide d'un programme qui simule le fonctionnement du générateur photovoltaïque en fonction de l'éclairement et la température ambiante. Pour le calcul, nous proposons la puissance crête du générateur photovoltaïque égale à 750 Wc pour alimenter un chauffe eau utilisant un réservoir de 150 litres. Le générateur

photovoltaïque est constitué de 15 modules UDTS-50 montés en 3 branches de 5 modules en série. Chaque module est constitué de 36 cellules en mono cristallin (10 x 10 cm).

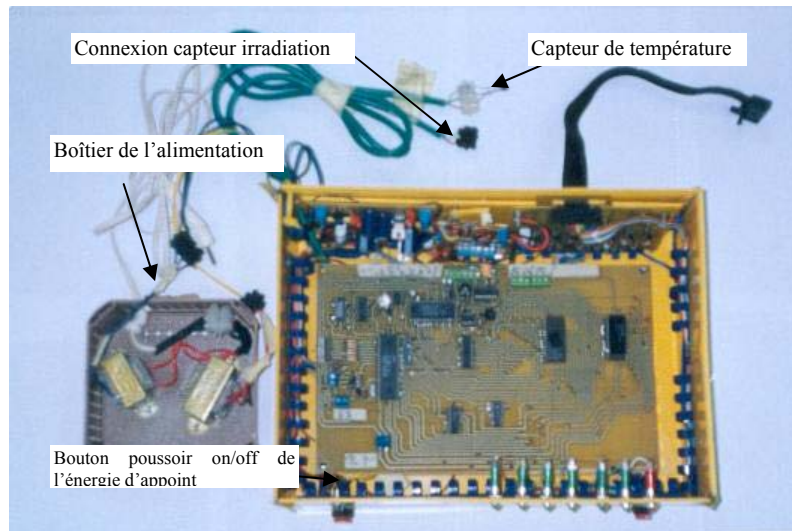


Fig.3: Vue de dessus du boîtier du prototype du système de mesure et de contrôle

Egalement, deux sites (Béchar et Tamanrasset) sont choisis en raison de la disponibilité des données mesurées, par l'Office National de la Météorologie (ONM), de l'irradiation journalière pour une année type. Les données géographiques de ces deux sites sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Données géographiques de Béchar et Tamanrasset

No.	Site	Latitude (Deg)	Longitude (Deg)	Altitude (m)
1	Béchar	31.64 N	02.25 W	777.0
2	Taman.	22.76 N	05.52 E	1377.0

Pour un but de montrer l'influence de l'éclairement solaire sur le point de fonctionnement et sur l'adaptation des charges fixes par rapport à la puissance optimale du générateur photovoltaïque, nous avons représenté dans le tableau 2 les résistances optimales de la charge pour une température ambiante $T_a=25^\circ\text{C}$ et en fonction de trois niveaux d'éclairement solaires : 200, 800 et 1000 W/m^2 .

Tableau 2: Résistances optimales du générateur photovoltaïque en fonction de l'éclairement

Ecl (W/m^2)	Cpmax (A)	Vpmax (V)	Pmax (W)	Ropt (Ω)
200	2.01	79.50	160.04	39.49
800	7.19	78.00	560.83	10.85
1000	8.55	76.50	653.79	8.95

La résistance optimale en fonction de l'éclairement durant une année type est calculée pour Béchar et Tamanrasset et les résultats sont illustrés dans les figures 4 et 5. L'étude de l'influence de la température ambiante sur la valeur de la résistance optimale a montré que cette dernière est peu dépendante de la température ambiante (voir figure 6)

Tableau 3: Résistances optimales calculées en fonction des intervalles de l'éclairement

Eclairement (W/m^2)	Charge (Ω)	Combinaison des résistances
$0 \leq \text{Ecl} < 180$	70.50	R1
$180 \leq \text{Ecl} < 360$	31.00	R1//R2
$360 \leq \text{Ecl} < 510$	18.76	R2//R4
$510 \leq \text{Ecl} < 680$	14.20	R4//R5
$680 \leq \text{Ecl} < 870$	11.30	R3//R4//R5
$870 \leq \text{Ecl}$	09.73	R2//R3//R5//R6

L'analyse des résultats de la résistance optimale en fonction de l'éclairement obtenue en utilisant les données de Béchar et Tamanrasset, nous a permis d'établir des intervalles d'éclairement solaire associés à des valeurs de la résistance qui donnent la meilleure optimisation durant une année de fonctionnement (Tableau 3). Les valeurs nominales des résistances qui permettent de déterminer la résistance optimale de chaque intervalle sont représentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Valeurs nominales des éléments chauffants

Résistance	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Valeur (Ω)	70	55	55	28	28	28

La figure 7 représente la comparaison entre la puissance électrique de fonctionnement du chauffe eau, en utilisant les six résistances nominales, et la puissance maximale du générateur photovoltaïque en fonction de l'éclairement. Ces résultats montrent qu'il existe une bonne adaptation de la charge avec la puissance maximale du générateur. Le facteur d'adaptation (R_{eff}) qui est défini par le rapport entre la puissance utile et la puissance optimale du générateur photovoltaïque est un excellent indice pour mesurer l'adaptation du générateur avec la charge. Ce facteur d'adaptation est calculé pour tester l'utilisation des six résistances nominales et les résultats sont illustrés dans la figure 8. Mis à part les faibles valeurs d'éclairement solaire qui sont inférieurs à 250 W/m^2 , le facteur d'adaptation est presque 100% surtout entre 500 et 1000 W/m^2 .

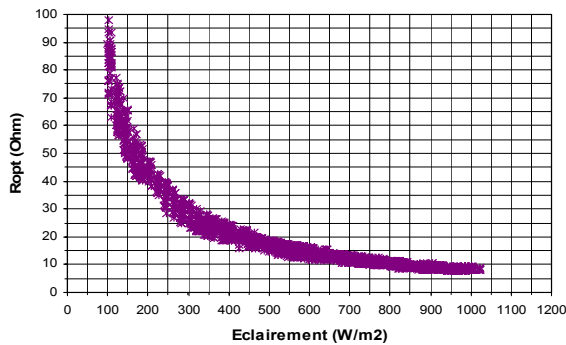


Fig. 4: La résistance optimale en fonction de l'éclairement calculée pour Béchar

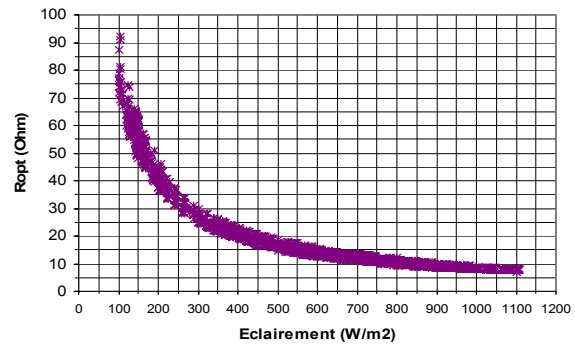


Fig. 5: La résistance optimale en fonction de l'éclairement calculée pour Tamanrasset

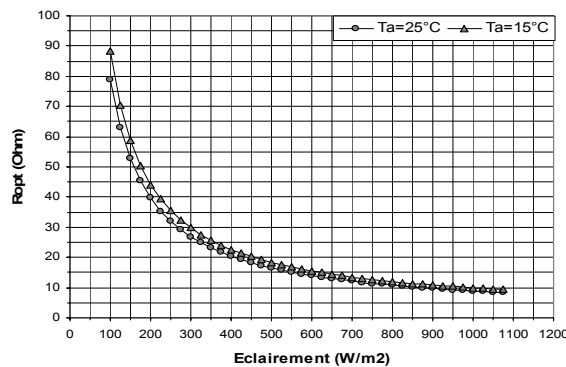


Fig. 6: Influence de la température ambiante sur la résistance optimale

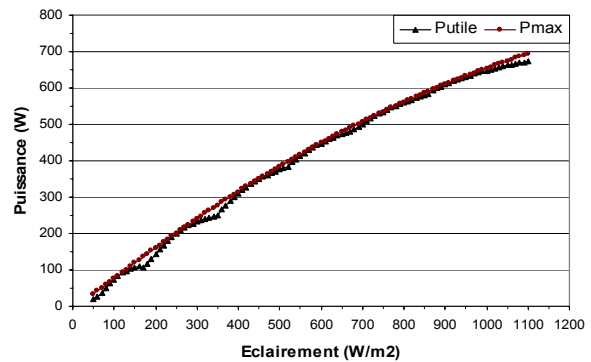


Fig. 7: Puissance utile et la puissance maximale du générateur photovoltaïque en fonction de l'éclairement.

En conclusion, la réalisation de ce prototype est la tâche la plus difficile pour la réalisation du chauffe eau photovoltaïque complet. En plus, ce système de chauffe eau à l'avantage de pouvoir remplacer facilement les systèmes de chauffe eau électrique existants car le branchement hydraulique s'effectue de la même manière sur la conduite d'eau domestique.

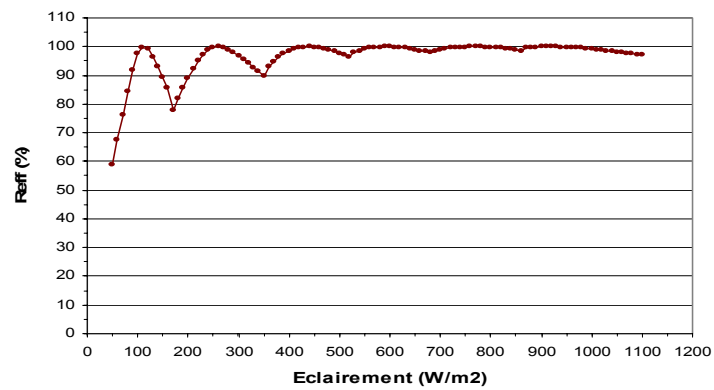


Figure 8: Facteur d'adaptation de la charge par rapport à la puissance maximale

REFERENCES

- [1] A. Labouret, P. Cumunel, J. Braun et B. Faraggi, "Cellules Solaires : Les bases de l'énergie photovoltaïque". Editions techniques et scientifiques françaises
- [2] A. Labour et M. Viloz. "Energie Solaire Photovoltaïque". Edition Dunod.
- [3] A. Laugier et J. A. Roger. "Les Photopiles Solaires". Ed. Technique et documentation
- [4] A. H. Fanney et B. P. Dougherty. "A Photovoltaic Solar Water Heating System." Proceeding of the International Solar Energy Conference, March 31 – April 3, 1996, San Antonio, USA
- [5] A. H. Fanney, B.P. Dougherty et K.P. Krzmp. "Field Performance of Photovoltaic Solar Water Heating Systems". Proceeding of the International Solar Energy Conference, April 27-30, 1997, Washington, DC, USA