

Etude préliminaire du potentiel de production d'eau chaude par capteurs plans solaires pour une application industrielle dans la région des Hauts Plateaux

B. Boutaghriout¹, A. Ghouari¹, C. Hamouda¹ et A. Malek²

¹ Département de Génie Industriel, Université El Hadj Lakhdar
Rue Chahid Boukhrouf Mohamed El Hadi, B.P. 499, Batna, Algérie

² Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

(reçu le 20 Novembre 2010 – accepté le 26 Décembre 2010)

Résumé – *Le développement récent, des capteurs plans solaires à hautes températures, rend l'utilisation des systèmes solaires thermiques dans le milieu industriel envisageable. Nous présentons dans ce papier une contribution à l'étude du potentiel de production d'eau chaude d'une installation, utilisant des capteurs plans, implantée sur le site de l'Université de Batna. Nous donnons, en premier lieu, un aperçu sur le contexte énergétique mondial en termes de consommation d'énergie et de niveaux de températures requis dans le secteur industriel, ainsi qu'une analyse de la consommation nationale par vecteurs énergétiques dans le secteur de l'industrie. Ensuite, nous définissons la chaîne de mesure appliquée au banc d'essai expérimental, suivi par le modèle de simulation établi. Nous présentons également l'interface d'acquisition et de contrôle du système, ainsi que les résultats expérimentaux obtenus.*

Abstract – *The recent development of flat plat collectors at high temperatures makes enable to use the solar thermal plants in industrial medium. We present in this paper a contribution to the study of producing solar hot water potential of an installation using flat plat collectors implemented on Batna university. In first, we give an outline above world energy consumption and share of industrial demand by temperature level also an analysis of national industrial consumption by energy vectors. Then we define our data acquisition system and simulation model. Finally we present the interface of control system and the experimental results obtained.*

Mots clés: Capteurs plans thermiques – Production d'eau chaude – Banc d'essai -

1. INTRODUCTION

La consommation mondiale d'énergie a connu une augmentation appréciable depuis la première crise mondiale de l'énergie. En effet, cette consommation est passée de 6115 MTEP en 1970 à 12667 MTEP en 2008 [1]. Les causes principales sont l'augmentation de la population mondiale et l'industrialisation massive qui a tendance à s'amplifier de plus en plus et plus précisément dans les pays de l'Asie (Chine, Inde...). Cette consommation irrationnelle conduit à l'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon...).

Dans le cadre du développement durable, face au double enjeu planétaire posé par l'épuisement de ces ressources énergétiques d'origine fossile et les problèmes posés vis-à-vis du respect de l'environnement, de fortes incitations poussent au développement des énergies renouvelables, notamment le solaire thermique dont la capacité installée au

niveau mondial a atteint 151.7 GWth en 2008, ce qui correspond à 217 millions de mètres carrés de capteurs installés [2].

Cette importante surface est répartie selon les trois principales technologies utilisées à ce jour: les capteurs à tubes sous vide représentent 54,2 %, les capteurs plans 32,6 %, ces deux types de capteurs représentent 86,8 % de la production totale. Ils sont utilisés essentiellement pour la production d'eau chaude domestique et d'appoint pour le chauffage des locaux. Le reste de la surface est constitué de capteurs sans vitrage, soit 12,4 % exploités pour le chauffage de l'eau des piscines et les capteurs à air qui occupent 0,8 %, avec et sans vitrage, Ils sont utilisés pour le séchage dans le domaine agricole.

Le développement, récent, de capteurs solaires thermiques performants, à températures élevées, a permis leur utilisation à titre expérimental dans le secteur industriel. Ces capteurs plans avec double vitrage, utilisant l'eau et le glycol, comme liquide caloporteur, et ils développent des températures pouvant allant de 80 à 150 °C [3].

2. DEMANDE DE CHALEUR DANS L'INDUSTRIE PAR NIVEAUX DE TEMPERATURE

2.1 Besoins en températures des différentes branches de l'industrie

L'étude récente de 'ECOHEATCOOL' [4] montre qu'environ 30 % de l'eau chaude demandée dans le secteur industriel nécessite un niveau de température au-dessous de 100 °C et 43 % pour des températures dépassant 400 °C, tandis que 27 % requiert un niveau de température s'étalant entre 100 °C et 400 °C (Fig. 1).

Les capteurs solaires plans existant sur le marché, fonctionnant à des températures inférieures à 100 °C, permettent de répondre en grande partie à des besoins de certaines branches de l'industrie (Fig. 2). Ainsi, actuellement, 85 installations solaires thermiques, couvrant une superficie de 38,500 m², produisant l'équivalent de 27 MWth, sont expérimentées dans différents pays [5].

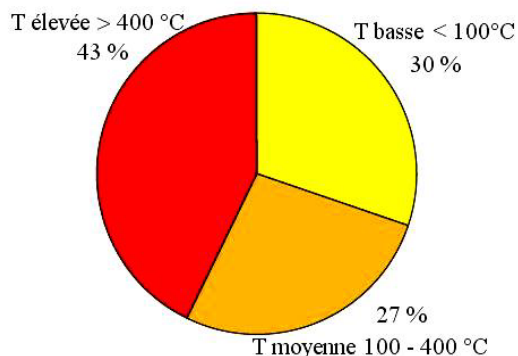


Fig. 1: Les différents niveaux des températures demandés dans l'industrie [4]

Ces systèmes sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire pour le nettoyage des installations où la température requise n'excède pas les 100 °C.

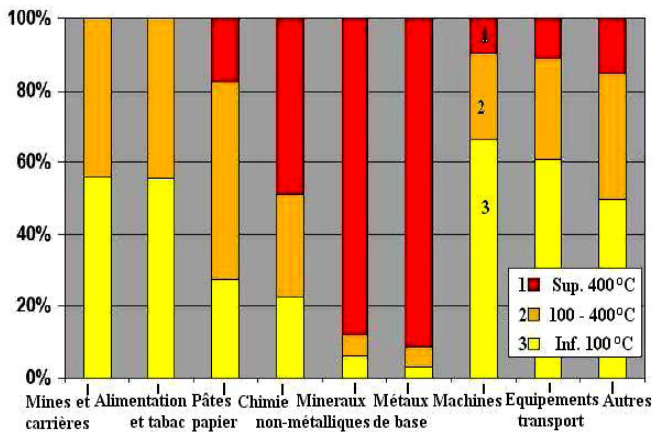


Fig. 2: Répartition des différents niveaux de températures par branche industrielle [4]

2.2 Consommation finale du secteur de l'industriel et du BTP en Algérie

En ce qui concerne l'Algérie, le bilan énergétique national, montre l'exploitation croissante des énergies fossiles. L'analyse de la consommation du secteur industriel et du BTP, fait ressortir la dominance de deux vecteurs énergétiques, l'électricité avec 38,6 % et le gaz naturel avec 33,4 % de la part totale [6], ce qui nous incite à entamer des recherches sur des énergies de substitution, (Fig. 3).

L'énergie solaire disponible sur tout le territoire algérien constitue une source d'énergie prometteuse dont il faut envisager l'exploitation grâce à la disponibilité, sur le marché, des technologies performantes et fiables.

Pour introduire les installations du solaire thermique au niveau de l'industrie, il est indispensable d'effectuer une étude de faisabilité de ces installations, et ceci, en tenant compte, non seulement des parts des températures requises par les différents secteurs de l'industrie, mais aussi des températures auxquelles ces installations peuvent répondre.

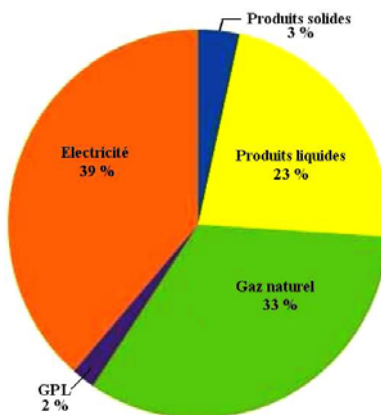


Fig. 3: Consommation du secteur industriel et du BTP pour l'année 2009

3. ETUDE EXPERIMENTALE SUR UNE INSTALLATION DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR CAPTEURS PLANS SOLAIRES

3.1 Installation de production d'eau chaude par énergie solaire

Cette installation de tests de capteurs plans solaires, (Fig. 4), qui a servi, dans le passé, pour la production d'eau domestique [7], a subi des modifications pour répondre aux exigences de cette nouvelle application notamment:

- Le champ de capteurs plans, a été agrandi, recouvrant une surface de 8 m². Les capteurs plans, malgré leur durée d'exposition (22 ans) au rayonnement solaire, depuis leur acquisition auprès de CDER en 1988, ne présentent pas de dégradations importantes.

Ces derniers ont subi une légère rénovation (changement des vitres et quelques retouches de la couche absorbante).

- L'utilisation d'un échangeur à plaques, entre le circuit primaire (contenant de l'eau distillée et un antigel pour $T = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$) et le circuit d'utilisation de l'eau produite, permet d'augmenter les capacités de production de l'installation en fonction de la température de sortie souhaitée.
- Une unité d'acquisition de données (Datataker DT50) liée à un micro-ordinateur par la liaison RS232, ainsi qu'une carte électronique à base de relais, permettent le suivi des quatre (04) capteurs de température servant à mesurer la température de l'eau de sortie du capteur plan, la température de l'eau retour au capteur plan, la température de l'eau à la sortie de l'échangeur et celle de l'absorbeur.

Cette unité permet également la commande de la pompe de circulation montée dans le circuit primaire.

3.2 Principe de fonctionnement du système

Le rayonnement solaire chauffe un fluide caloporteur circulant dans l'absorbeur du capteur. Ce fluide constitué d'eau et d'antigel, capte la chaleur solaire et la transmet au niveau de l'échangeur de chaleur à plaques.

Cette circulation est dite forcée. En effet, le fluide caloporteur circule grâce à une pompe commandée à distance par un programme que nous avons élaboré. L'eau chaude cède la chaleur à l'eau froide qui arrive du réservoir 1, et l'eau chauffée, après avoir atteint la température désirée (T_4) est stockée dans le réservoir 2.

L'ouverture et la fermeture de l'électrovanne sont commandées également par un programme, en fonction des niveaux de températures fixés pour chaque test.

Les deux débitmètres (1, 2) permettent de mesurer la quantité de l'eau chaude produite et le débit de l'eau circulant dans le circuit fermé.

3.3 Principe de régulation du système

La chaîne d'acquisition de données est un ensemble de dispositifs connectés, qui sert à la mesure de nombreuses grandeurs physiques et de paramètres de l'installation de production d'eau chaude et qui en assure également le traitement du signal mesuré [8].

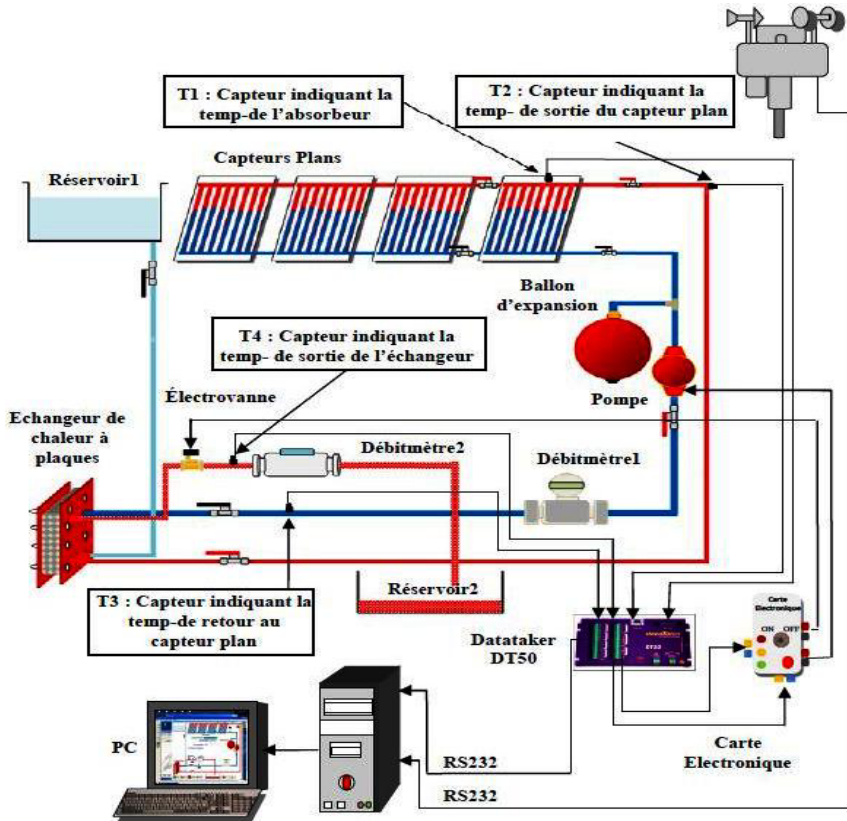


Fig. 4 : Schéma synoptique de l'installation de tests de production d'eau chaude par capteurs plan thermiques pour des besoins industriels



Fig. 5: Vue en premier plan du champ de capteurs plans thermiques de l'installation de production d'eau chaude



Fig. 6: Vue de l'installation comportant le circuit hydraulique, la chaîne d'acquisition de données, l'échangeur à plaques et les différents instruments de mesures

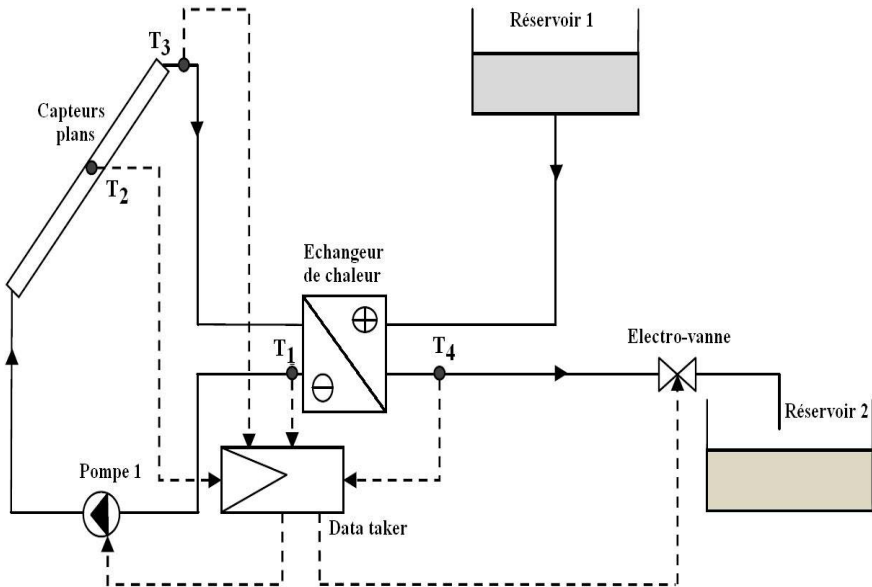


Fig. 7: Schéma de commande de l'installation de production d'eau chaude solaire

Le schéma de la figure 7, présente l'architecture de commande du banc d'essai du système de production d'eau chaude d'origine solaire, afin de contrôler ses paramètres.

Le système est lié à l'unité d'acquisition de données et de contrôle. L'acquisition consiste à relever et à suivre l'évolution de la température de l'absorbeur (T_2), de la

température de sortie du capteur plan (T_3), de la température de retour de l'échangeur vers le capteur plan (T_1) et de la température de sortie de l'échangeur (T_4) (l'eau chauffée destinée à l'utilisation).

Le principe de régulation, adopté dans ce cas, est celui utilisé en général dans ce genre de système. Il est basé sur la différence de température ($T_3 - T_4$)

Après avoir comparé cette différence à une valeur ΔT fixée par l'utilisateur, le micro-ordinateur émettra une commande à l'unité d'acquisition. Dès que cette différence est supérieure à ΔT , l'unité d'acquisition va activer la pompe de circulation par l'intermédiaire de la carte électronique. L'activation de la pompe est maintenue tant que cette différence reste supérieure à la valeur de ΔT .

Dans le cas où cette différence est inférieure à ΔT , une autre commande sera émise par le programme informatique pour désactiver la pompe.

Pour le relevé des paramètres thermiques de l'installation, une interface d'acquisition de données a été développée (Fig. 8) en utilisant un langage de programmation orienté objet Delphi.

Cette interface permet de visualiser l'ensemble des températures en temps réel, ainsi, de surveiller et de piloter l'installation grâce au programme de commande.

Les données acquises sont enregistrées automatiquement sous forme numérique et graphique dans une base de données.

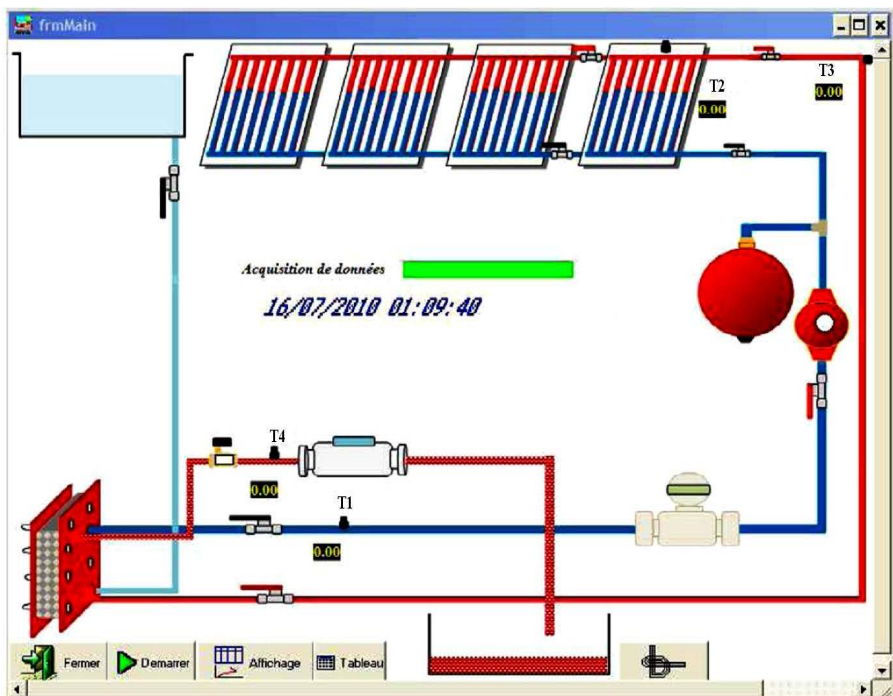


Fig. 8: Interface d'acquisition et de contrôle

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les tests sur le système, de production d'eau chaude à capteurs plans solaires, ont été menés, durant deux journées.

La température T_4 de l'eau d'utilisation, à la sortie de l'échangeur, a été retenue comme variable principale. En tenant compte du segment de température ($T \leq 100^\circ\text{C}$) utilisé pour les besoins de l'industrie, nous avons retenu deux seuils de températures: $T_4 \geq 40^\circ\text{C}$ et $T_4 \geq 55^\circ\text{C}$.

Pour ces valeurs de T_4 , nous avons relevé la production journalière. Cette valeur est à titre indicatif, elle ne peut être considérée comme une grandeur spécifique, sachant que, dans ce cas, il faut prendre en considération un ensemble de paramètres (rayonnement, température ambiante, vitesse du vent, pertes...) non relevés dans ces travaux préliminaires.

4.1 Résultats expérimentaux du test du 15/07/2010 pour $T_4 \geq 40^\circ\text{C}$

La journée du 15/07/2010 est une journée relativement nuageuse. Au cours de l'après midi, à partir de 14 heures, on constate que la courbe du rayonnement présente certaines variations, (Fig. 9). L'énergie incidente pour cette journée est de $4,23 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{jour}$.

En observant les variations des différentes températures de l'eau (Fig. 10), température de l'absorbeur (T_2), la température de sortie du fluide caloporteur du capteur plan (T_3), la température de retour du fluide caloporteur au capteur plan (T_1) et la température de la sortie de l'échangeur (T_4) de l'eau chauffée, on constate que:

- La température (T_2), relevée à l'aide d'un Pt100 à l'arrière de l'absorbeur, évolue conjointement avec l'augmentation du rayonnement, alors que les autres températures (T_1 , T_3 et T_4), présentent un profil relativement constant. En effet, celles-ci sont régulées selon la température de seuil $T_4 \geq 40^\circ\text{C}$;
- Pour cette journée, et pour le seuil de température retenu, le système a fonctionné, de manière continue, pratiquement de 10 heures jusqu'à 18 heures. La quantité d'eau chaude produite durant cette journée est de 715 litres.

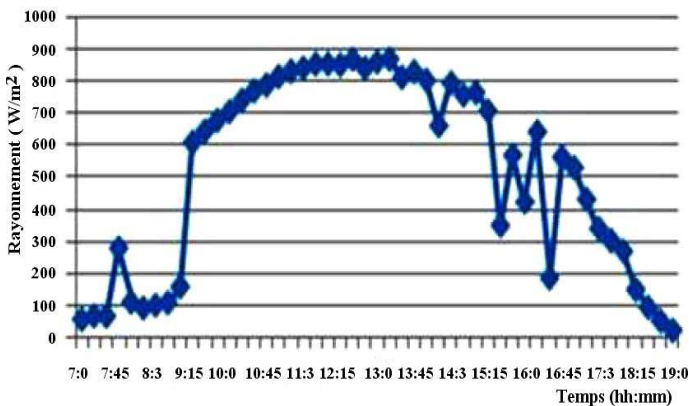


Fig. 9: Répartition journalière du rayonnement global, (15/07/2010)

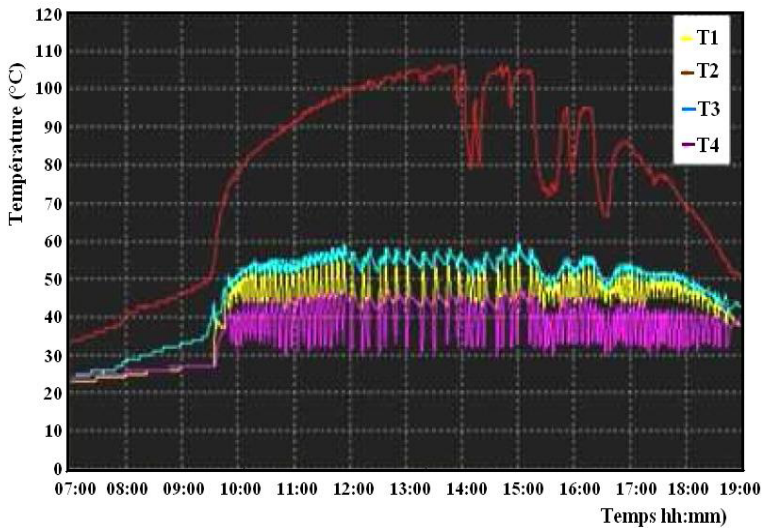


Fig. 10: Relevé journalier des températures de retour au capteur T_1 , de l'absorbeur T_2 , de sortie du capteur T_3 , de sortie de l'échangeur T_4 , (15/07/2010)

4.2 Résultats expérimentaux du test du 19/07/2010 pour $T_4 \geq 55^\circ\text{C}$

La journée du 19/07/2010 est une journée relativement claire (Fig. 11). L'énergie du rayonnement solaire enregistrée est de $6,22 \text{ kWh/m}^2\text{.j}$.

Sur le graphe des températures (Fig. 12), on constate clairement l'évolution rapide de la température de l'absorbeur (T_2) dépassant les 110°C vers 13 heures.

Cependant, la quantité d'eau chaude produite, durant la période active du système de 10 h 30 à 16 h 30, a atteint 219 litres. Cette faible quantité d'eau est due, au seuil de température $T_4 \geq 55^\circ\text{C}$, relativement élevée et fixée pour ce test.

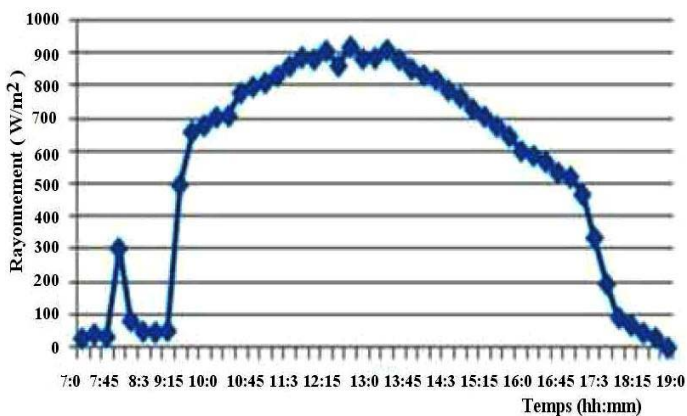


Fig. 11: Répartition journalière du rayonnement global, (19/07/2010)

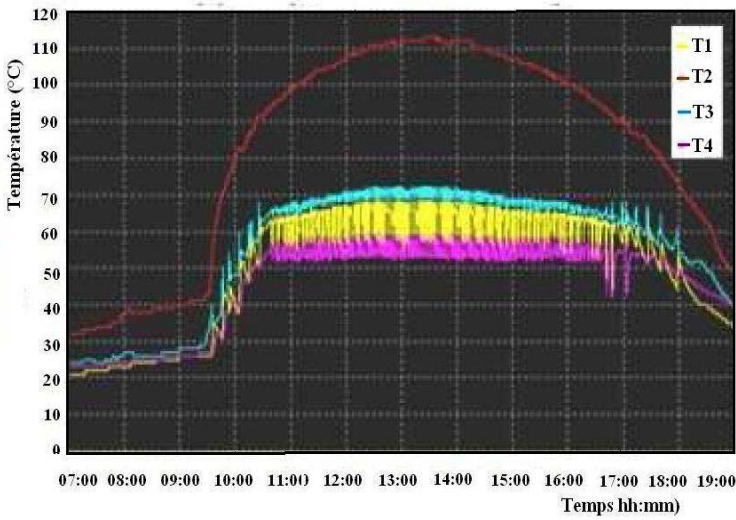


Fig. 12: Relevé journalier des températures de retour au capteur T_1 , de l'absorbeur T_2 , de sortie du capteur T_3 , de sortie de l'échangeur T_4 , (19/07/2010)

4.3 Modélisation du système à l'aide de TRNSYS

Le modèle global de l'installation de production d'eau chaude solaire avec des capteurs plans est représenté, en figure 13, dans le logiciel TRNSYS®.

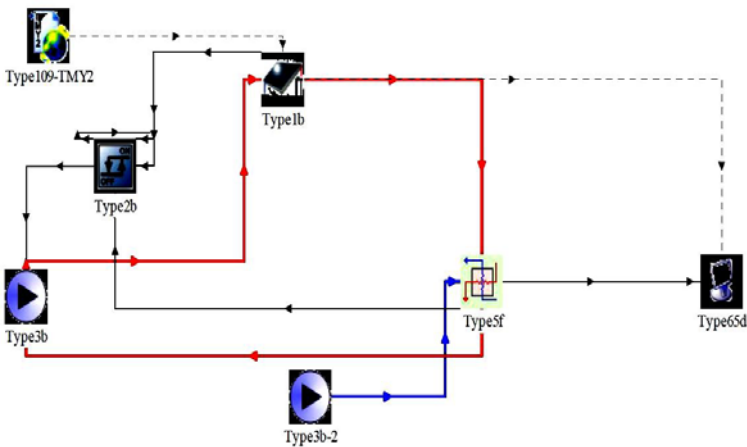


Fig. 13: Schéma de principe du système

Le schéma de principe du système de production d'eau chaude inclut les composants suivants:

- l'appareil de mesure du rayonnement solaire (Type109-TMY2), dont le temps de simulation correspond à une journée claire au mois de Juillet;
- le champ de capteurs plans solaires (Type1b) avec une surface de 8 m² et une inclinaison de 45°;

- l'échangeur de chaleur (Type5f), moyennant un coefficient de transfert de chaleur égale à 30 kJ/hr.K;
 - la pompe de circulation (Type3b);
 - le régulateur différentiel (Type2b);
 - l'afficheur de graphes (Type65d);
- et une source d'alimentation en eau froide (Type3b-2).

La stratégie de contrôle définie pour le modèle de simulation est assurée par le régulateur différentiel dont le principe repose sur la régulation hystérésis [9], comparant ainsi la différence entre la température de sortie du capteur plan et celle de sortie de l'échangeur ($T_3 - T_4$) avec une valeur fixée à 10 °C.

Les fluctuations observées sur les courbes T_1 et T_4 sont dues des interruptions de fonctionnement de la pompe de circulation (Fig. 14).

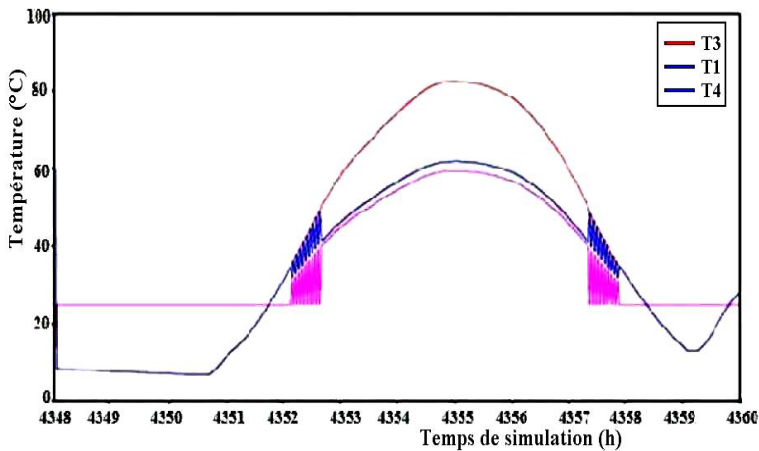


Fig. 14: Résultats de simulation de la température de sortie du capteur T_3 , de retour au capteur T_1 et de sortie de l'échangeur T_4

5. CONCLUSION

Le banc de tests installé à l'Université de Batna, est équipé de capteurs plans réalisés en 1988 par le CDER de Bouzaréah. Le bon fonctionnement à ce jour de ces capteurs est un indicateur important sur la durée de vie de ces derniers. Comme, nous avons constaté durant cette longue période (1988-2010), que les frais de maintenance et de rénovation sont minimes (remplacement de verre pour le vitrage, dégradation de quelques points de soudure au niveau du radiateur et de la peinture noire mat de l'absorbeur).

Après analyse des résultats expérimentaux obtenus dans le cadre de ce travail, nous constatons que pour des températures au dessous de 60 °C, l'utilisation des installations solaires à capteurs plans peuvent répondre aux besoins du secteur industriel, particulièrement là où les températures demandées pour des taches de nettoyage des installations se situent entre 40 à 60 °C.

Les travaux d'expérimentation menés à ce jour dans ce domaine, à travers le monde, montrent que les systèmes thermiques à capteurs plans, utilisant des capteurs à hautes performances, sont en mesure de couvrir les niveaux de températures, de l'ordre de 60 à 100°C, demandés dans l'industrie agroalimentaire.

Les besoins, importants en eau chaude, du secteur agro alimentaire, impliquent l'utilisation de systèmes thermiques à grandes surfaces (200 à 5000 m²). Nous sommes donc au début d'une nouvelle phase, celle-ci consiste à pénétrer un domaine hautement énergivore, qui offre de nouvelles perspectives pour l'industrie solaire et le secteur de la recherche et développement en Algérie.

REFERENCES

- [1] Report of the International Energy Agency, '*Key World Energy Statistics*', 82 p., Edition 2010.
- [2] W. Weiss and F. Mauther, '*Solar Heat Worldwide*', Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency, Edition 2010.
- [3] W. Weiss and M. Rommel, '*Process Heat Collectors, State of the Art within Task 33/IV*', AEE INTEC, Austria, 2008.
- [4] C. Vannoni, R. Battisti and S. Drigo, '*The Potential of Solar Heat for Industrial Processes – POSHIP*', Task 33/IV, University of Rome "La Sapienza", Final Report, 2001.
- [5] Report, European Solar Thermal Industry Federation, '*Solar Industrial Process Heat – State of the Art*', Solar Industrial Process Heat – WP3, Task 3.5.
- [6] Document, Ministère de l'Energie et des Mines, '*Bilan Energétique National de l'Année 2009*', Edition 2010.
- [7] F. Yettou, A. Gama, C. Hamouda et A. Malek, '*Etude et Réalisation d'un Banc d'Essai pour un Chauffe-Eau Solaire à Circulation Forcée dans la Région des Hauts Plateaux*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°1 pp. 119 – 128, 2008.
- [8] A. Nonclercq, K. de Cuyper, E. Leroy, D.L. Martinez et F. Robert, '*Apprentissage par Projet: L'Utilisation des Chaînes d'Acquisition Réelle et Virtuelle pour Enseigner l'Instrumentation*', Journal sur l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes, J3eA', Spécial Edition CETSIS 2008, Vol. 8, N°1 Hors Série, 2009. <http://www.j3ea.org>
- [9] Document TRNSYS 16, '*A Transient System Simulation Program*', University of Wisconsin, Madison, USA, 2010.