

# Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire destiné à la récupération de l'énergie stockée dans la toiture-terrasse en béton d'un bâtiment

Gora NIANG <sup>1,\*</sup>, Mamadou ADJ <sup>1</sup>, Dorothé AZILINON <sup>1</sup>, Vincent SAMBOU <sup>2</sup>, Atou SALL <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Energétique Appliquée, Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.

<sup>2</sup>Centre International de Formation et de Recherche en Energie Solaire, Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.

\* (auteur correspondant : niangora2002@yahoo.fr)

**Résumé** - L'article présente des résultats d'une expérimentation de captation d'énergie solaire par un serpentin de 30 m de longueur noyé dans la toiture-terrasse en béton d'un bâtiment à Dakar. De surface 12,68 m<sup>2</sup>, la dalle est isolée sur sa face arrière, à l'aide de plaques de polystyrène de 2 cm d'épaisseur. L'expérimentation a en outre montré l'absence de stratification dans le ballon de stockage. Pendant la journée du 18 juin 2008 (période chaude), les 200 L d'eau sont chauffés de 30 °C à 40 °C et de 27 °C à 35 °C le 22 janvier 2009 (période froide). La qualité de l'isolation du ballon de stockage permet de conserver l'eau chaude produite pendant une durée de 15 heures.

Mots clés : toiture terrasse, béton, serpentin, isolation, ballon de stockage

## 1. Introduction

Après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, le monde risque d'en connaître un troisième. La cause en est que le prix du pétrole a atteint un niveau jusque-là inégalé. Face à cette situation, les pays importateurs de pétrole comme le Sénégal n'ont d'alternative qu'un recours aux énergies renouvelables particulièrement à l'énergie solaire. L'énergie solaire est aujourd'hui utilisée pour produire de l'électricité, chauffer des maisons, produire de l'eau chaude sanitaire, chauffer l'eau des piscines, dessaler l'eau de mer, etc. Parmi les applications de l'énergie solaire, le chauffage de l'eau pour un usage domestique est l'une des plus immédiates, simples et répandues. Plusieurs millions de chauffe-eau solaires sont en service dans le monde. Le chauffe-eau solaire est généralement formé d'un capteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, d'un échangeur thermique qui transfère la chaleur à l'eau et d'un réservoir de stockage d'eau chaude. L'utilisation de capteurs solaires en béton pour fournir de l'eau chaude sanitaire a fait l'objet de plusieurs études. On peut citer Traoré [1], Yaou [2], Gueye [3] et Chaurasia [4] qui ont étudié des dalles en béton récupératrices d'énergie solaire. Cependant l'utilisation de la terrasse d'habitats des pays chauds n'a pas, à notre connaissance, été envisagée.

## 2. Environnement expérimental

### 2.1. Présentation du chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau est constitué d'un serpentin en cuivre noyé dans la dalle en béton du bâtiment, d'un ballon de stockage, d'une pompe pour activer la circulation de l'eau et d'un réseau hydraulique reliant le serpentin et le ballon de stockage.

Le bâtiment, situé à côté du Laboratoire d'Energétique Appliquée de l'école supérieure Polytechnique, a une longueur extérieure de 382 cm (façade Nord), une largeur extérieure de 332 cm (façade Ouest) et une hauteur sous plafond de 318 cm. La photo de la figure 1 montre le serpentin en cuivre reposant sur les plaques de polystyrène avant le coulage de la dalle. Deux trous percés sur les plaques et les briques hourdis permettent de relier le serpentin au ballon de stockage situé à l'intérieur du bâtiment.



*Figure 1 : Photo de la dalle avant coulage*

## **2.2. Fonctionnement du chauffe-eau**

La figure 2 montre l'installation vue de la façade Est.

Le circuit HCDEFG correspond au fonctionnement du dispositif en circuit fermé. La pompe fait circuler l'eau du ballon qui est chauffée lors de son passage dans la dalle. Pour cela il faut ouvrir les vannes V2 et V3 et fermer la vanne V1 et les robinets R1 et R2.

Le circuit ABCDEFIJ permet de faire circuler l'eau en circuit ouvert. L'eau provenant du réseau public de distribution d'eau, traverse le serpentin et est déversée directement à l'évier. Pour cela on ouvre la vanne V1 et le robinet R2 et on ferme les vannes V2, V3 et V4.

La canalisation ABKN, reliée au réseau public de distribution d'eau, permet de remplir le ballon de stockage. Celui-ci est équipé d'un flotteur qui permet de le remplir automatiquement dès qu'on effectue un puisage.

La canalisation LM munie du robinet de puisage R1 permet de puiser de l'eau à tout moment. Il permet aussi de vider le ballon lorsqu'on désire le nettoyer.

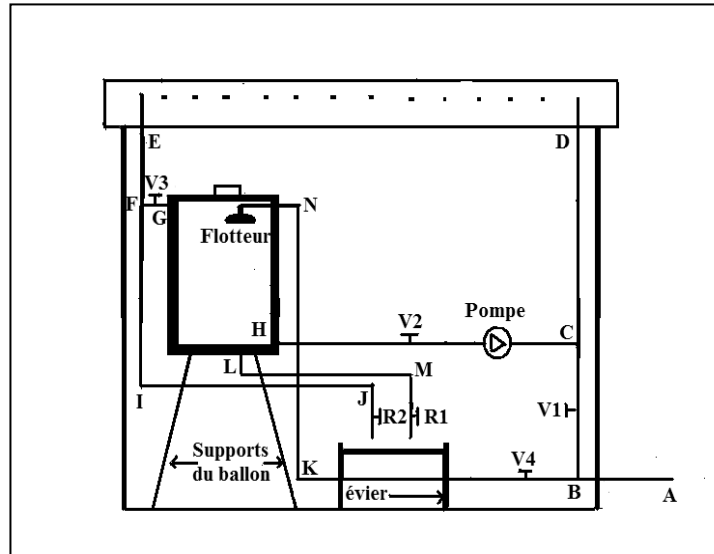


Figure 2 : Installation vue de la façade Est

## 2.3. Système de mesures et d'acquisition des données

### 2.3.1. Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire global au sol est mesuré par le pyranomètre du Centre International de Formation et de Recherche en Energie Solaire (CIFRES) de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar.

### 2.3.2. Mesures des températures

Les thermocouples de type K (Chromel / Alumel) et de type J (Fer / Constantan) sont utilisés pour la mesure des températures en raison de leur bonne stabilité dans le temps, leur bonne sensibilité ( $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) et enfin leur bonne linéarité dans le domaine des températures envisagées (entre 0 et  $100^\circ\text{C}$ ) [5].

#### 2.3.2.1. Mesure du champ de température dans la dalle

Pour vérifier l'hypothèse de la conduction unidirectionnelle de la chaleur dans la dalle, des thermocouples sont placés à différentes profondeurs dans la dalle : à la surface, à 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm de profondeur. Nous avons également placé des thermocouples en divers points de la dalle situés dans un même plan horizontal [6].

#### 2.3.2.2. Mesure de la température de l'eau du ballon de stockage

Les mesures seront effectuées uniquement sur la direction verticale selon l'axe du ballon [7]. Une canne d'exploration de petit diamètre (10 mm) est maintenue fixe sur l'axe du ballon. Les soudures chaudes des thermocouples sont fixées sur la canne à 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm et 80 cm du fond du ballon de hauteur 100 cm.

### 2.3.3. Système d'acquisition et de traitement des données

La centrale de mesure HP Agilent 34970A permet l'acquisition des données. Elle est pilotée par un micro-ordinateur équipé du logiciel Agilent Benchlink data logger d'acquisition de données. Pour limiter la taille des fichiers de stockage nous avons choisi des intervalles de mesure d'une minute. Les données sont traitées dans Matlab pour tracer les courbes.

### **3. Résultats - discussions**

#### **3.1. Evolution du rayonnement solaire global**

La figure 3 montre l'évolution du rayonnement solaire global pour la journée du 18 juin 2008 à Dakar. Il atteint la valeur maximale de  $950 \text{ W/m}^2$  aux environs de 13 h TU.

#### **3.2. Evolution du champ thermique dans la dalle**

La figure 4 montre les courbes d'évolution de la température à différentes profondeurs dans la dalle. On remarque que la température diminue avec la profondeur pendant la période d'ensoleillement. De 18 h TU à 20 h TU les courbes sont pratiquement confondues preuve que la température est uniforme dans la dalle. A partir de 20 h TU on observe la tendance inverse, les parties les plus profondes de la dalle sont plus chaudes.

Pendant la période d'ensoleillement la température est d'autant plus élevée qu'on est plus proche de la surface extérieure de la dalle d'où l'intérêt de placer le serpentin le plus près possible de la surface de la dalle.

#### **3.3. Evolution de la température de l'eau du ballon de stockage**

La figure 5 montre l'évolution de la température de l'eau du ballon de stockage à 10 cm, 20 cm et 50 cm du fond du ballon pour les journées du 18 et 19 juin 2008. L'eau circule en boucle fermée pendant le chauffage. Les courbes obtenues, pour différents emplacements des thermocouples suivant l'axe du ballon, sont pratiquement confondues. La température de l'eau du ballon de stockage est donc uniforme. Ainsi nous pouvons affirmer que le stockage s'effectue avec mélange homogène. Pour cette journée de mesure l'eau stockée atteint une température de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  pour un ballon de 200 L. L'eau est initialement à la température de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . La pompe est mise en marche à 12 h TU. On l'arrête dès que la température de l'eau commence à baisser c'est à dire aux environs de 16 h TU. L'eau stockée est à une température de  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  le lendemain (19 juin 2008) à 9 h TU; ce qui dénote de la bonne qualité de l'isolation du ballon.

La figure 6 montre l'évolution de la température de l'eau du ballon de stockage et celle de l'air extérieur les 22 et 23 janvier 2009. De 9 h TU à 12 h TU on constate une diminution de la température de l'eau du ballon conséquence d'un échange de chaleur entre le ballon et l'air ambiant. A partir de 12 h TU la pompe est mise en marche et l'eau commence à récupérer la chaleur accumulée dans la dalle. La température maximale de  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  est atteinte aux environs de 16 h TU. En ce moment on arrête la pompe de circulation. En examinant la courbe on remarque que la température de l'eau à 8 h TU le 23 janvier est de  $31 \text{ }^\circ\text{C}$  alors que celle de l'extérieur est de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , ce qui est convenable pour un bain.

### **4. Conclusion**

Les résultats obtenus avec ce chauffe-eau solaire sont satisfaisants. En effet on a produit de l'eau chaude avec un dispositif assez original qu'est la toiture terrasse en béton d'un bâtiment.

Outre la production d'eau chaude, le confort thermique est amélioré de façon significative dans le bâtiment avec l'isolation de la dalle.

## Références

- [1] Drissa Traoré, *Contribution à l'étude théorique et expérimentale d'un dispositif de récupération de l'énergie solaire stockée dans une dalle en béton*, Thèse de Doctorat, ENSUT, Dakar, Sénégal (1989).
- [2] Yahaya Yaou, *Contribution à l'étude du couplage d'un ballon de stockage d'eau chaude avec une dalle récupératrice d'énergie solaire : Application à la production d'eau chaude sanitaire*, Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSUT, Dakar, Sénégal (1995).
- [3] Kalé Gueye, *Modélisation analytique et numérique du champ thermique dans une dalle récupératrice destinée à la production d'eau chaude sanitaire*, Thèse de Doctorat, ESP, Dakar, Sénégal (1997).
- [4] P. B. L. Chaurasia, *Solar water heaters based on concrete collectors*, Energy, 25, (2000), 703 - 716.
- [5] André Girardey, *Métrieologie en thermique*, Les Editions « Le Griffon d'Argile » (1986).
- [6] Gora Niang, *Etude et réalisation d'un chauffe-eau solaire à partir de l'énergie stockée dans la toiture-terrasse en béton d'un bâtiment*, Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, ESP, Dakar, Sénégal (2009)
- [7] Evelynne Surugue, *Etude de l'influence de la puissance de l'échangeur sur la stratification dans un ballon de stockage d'eau chaude sanitaire : Contribution à l'étude du coefficient d'échanges des échangeurs serpentinaux*, Thèse de Doctorat, Université Paris Val de Marne (1989).

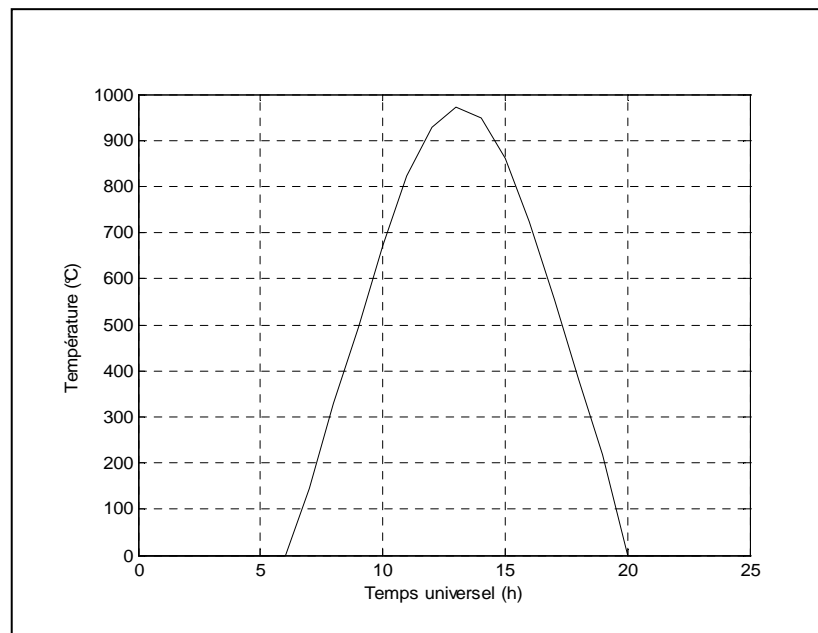


Figure 3 : Rayonnement solaire global le 18 juin 2008

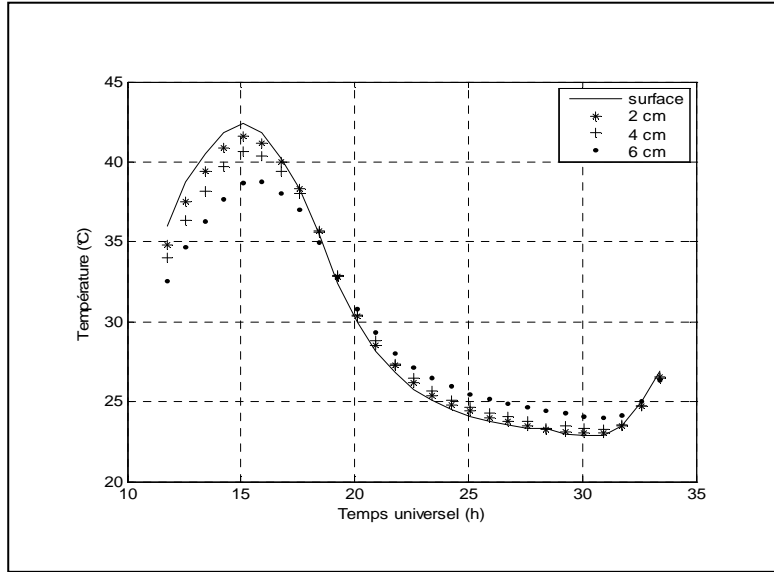


Figure 4 : Température à différentes profondeurs dans la dalle les 18 et 19 juin 2008

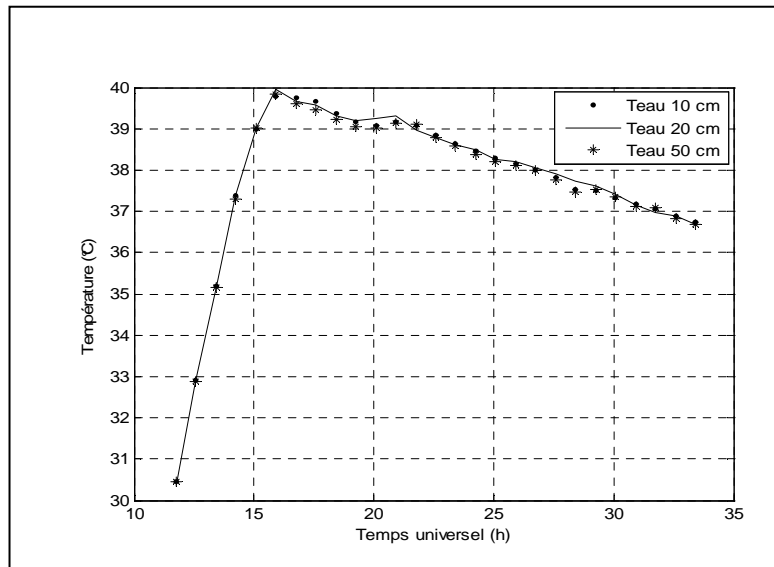


Figure 5 : Température de l'eau du ballon de stockage les 18 et 19 juin 2008

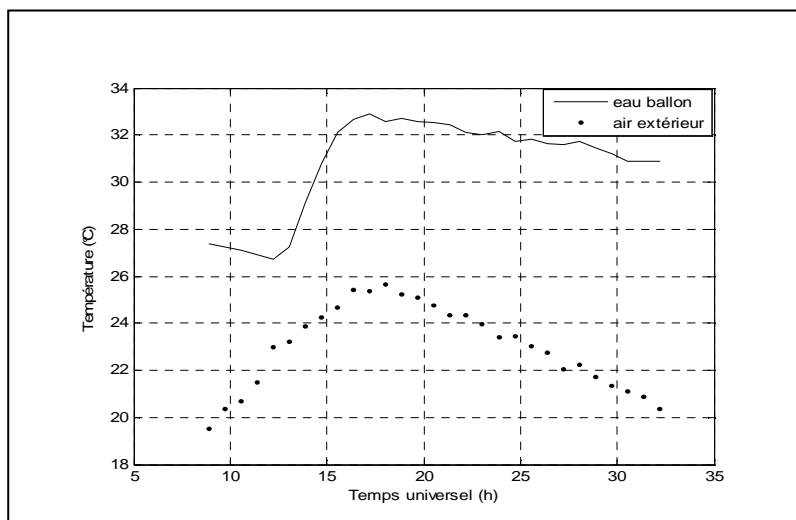


Figure 6 : Température de l'eau du ballon de stockage les 22 et 23 janvier 2009