



Conception et étude d'un système hybride Micro-CSP/chaudière biomasse pour le chauffage de l'ambiance et la production de l'eau chaude

Said LAMGHARI^{1*}, Abdelkader OUTZOURHIT¹, Hassan HAMDI^{2,3}, Mickael BENHAIM⁴, Mehdi KHALDOUN⁵, Fatima AIT NOUH³,

- (1) LN2E, Département de physique, Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
(2) LMFE, Département de physique, Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
(3) EnR2E, Centre National d'Etudes et de Recherche sur l'Eau et l'Energie, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
(4) Water Solar Maroc, Marrakech, Maroc.
(5) BuildIT, Marrakech, Maroc
said.lamghari@edu.uca.ma

Résumé : Les hammams traditionnels sont très consommateurs d'eau et du bois-énergie. Toute démarche visant à réduire cette consommation contribuera à la préservation et de ces deux ressources qui sont de plus en plus stressées au Maroc. Dans le HYBRIDBATH, financé par l'Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies nouvelles (IRESEN) dans le cadre de l'appel InnoTherm/InnoBiomass 2014, nous avons utilisé un système hybride constitué de capteurs cylindro-parabolique (micro-CSP) et des chaudières à biomasse, pour le chauffage de l'eau et de l'ambiance d'un Hammam traditionnel. Les chaudières à biomasse ont le rôle de contourner le problème d'intermittence de l'énergie solaire, et de garantir un approvisionnement continu en eau chaude et en chaleur. Elles utilisent des résidus de produits locaux (grignons d'olives, noix, amendes, Argane ...), ce qui nous permet d'éviter l'utilisation du bois-énergie et par conséquent, réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le chauffage de l'ambiance se fait par l'intermédiaires de planchers chauffants, formés de tubes sous forme de serpentins (ou parfois de spirales) en cuivre où l'eau (fluide caloporteur) circule, ce qui améliore l'efficacité énergétique du système. Une étude expérimentale a montré que le temps de réponse du système est de 4h45min pour la salle tiède et 6 heures pour la salle chaude pour la journée 09/12/2016 qui a une température moyenne de 15°C.

Mots Clés : Micro-CSP, capteur cylindro-paraboliques, biomasse, chaudière à biomasse, systèmes hybrides, couplages, fraction solaire, chauffage du sol, production d'eau chaude.

1. INTRODUCTION

Il y a environ 7000 hammams au Maroc, dont 300 situés à Marrakech [1], qui utilisent la méthode traditionnelle de chauffage, où l'eau est chauffée par la combustion du bois et l'énergie des gaz de combustion sont utilisées pour chauffer le plancher de certaines chambres du Hammam, comme le montre la figure 1. L'idée est très intelligente mais elle n'est pas efficace pour plusieurs raisons :

- ✓ Haute résistance thermique et Inertie des planchers chauffants ;
- ✓ Combustion inefficace (l'insuffisance de débit d'air) ;
- ✓ Dépôts de calcaire s'accumulent dans les chaudières (chauffé du bas) ;
- ✓ Absence de commande automatique pour le chauffage de l'eau et du bain ;
- ✓ Impossibilité de découpler le chauffage de l'eau de celui de l'espace ;
- ✓ Surchauffe du plancher dans les heures de pointe en raison de la forte demande en eau chaude ;
- ✓ Absence d'une isolation thermique adéquate ;

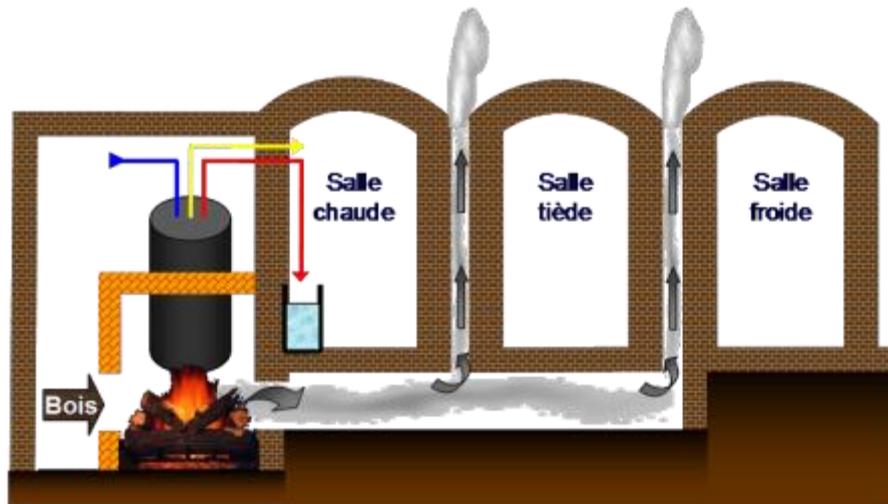


Figure 1 : Méthode traditionnelle de chauffage des hammams[2]

Face à l'augmentation de la demande d'énergie, les fluctuations des prix pétroliers et l'incertitude pesant sur l'approvisionnement énergétique sont des facteurs qui poussent plusieurs pays, parmi le Maroc, à adopter la politique d'efficacité énergétique.

C'est dans cette optique que le présent projet s'inscrit. Un système hybride constitué de capteurs cylindro-parabolique (micro-CSP) et des chaudières à biomasse, a été développé pour le chauffage de l'eau et de l'ambiance d'un Hammam traditionnel. Une étude expérimentale du système a été menée pour déterminer la distribution de température dans le plancher chauffant, et le temps de réponse du système.

2. PRÉSENTATION DU SUJET

2.1. Localisation géographique

Le hammam sur lequel l'étude a été menée est situé à Mhamid-4 Marrakech. La carte montrée dans la figure 2 présente le quartier où le Hammam se trouve.



Figure 2 : Localisation géographique du hammam

2.2. Description de l'installation

La figure 3 nous donne le schéma détaillé du système de chauffage. C'est un chauffage biénergie. L'eau est préchauffée par l'énergie solaire dans le premier ballon qui est alimenté en chaleur par l'échangeur de la boucle solaire chauffée par les capteurs Micro-CSP. L'eau préchauffée est ensuite portée à la température de consigne (en cas de besoin) dans les deux autres ballons, qui sont chauffés par les deux chaudières à biomasse.

Le chauffage de l'ambiance (salles du bain), d'un autre côté, est assuré par les chaudières à biomasse par l'intermédiaire des planchers chauffants et des radiateurs comme montré dans la figure 3.

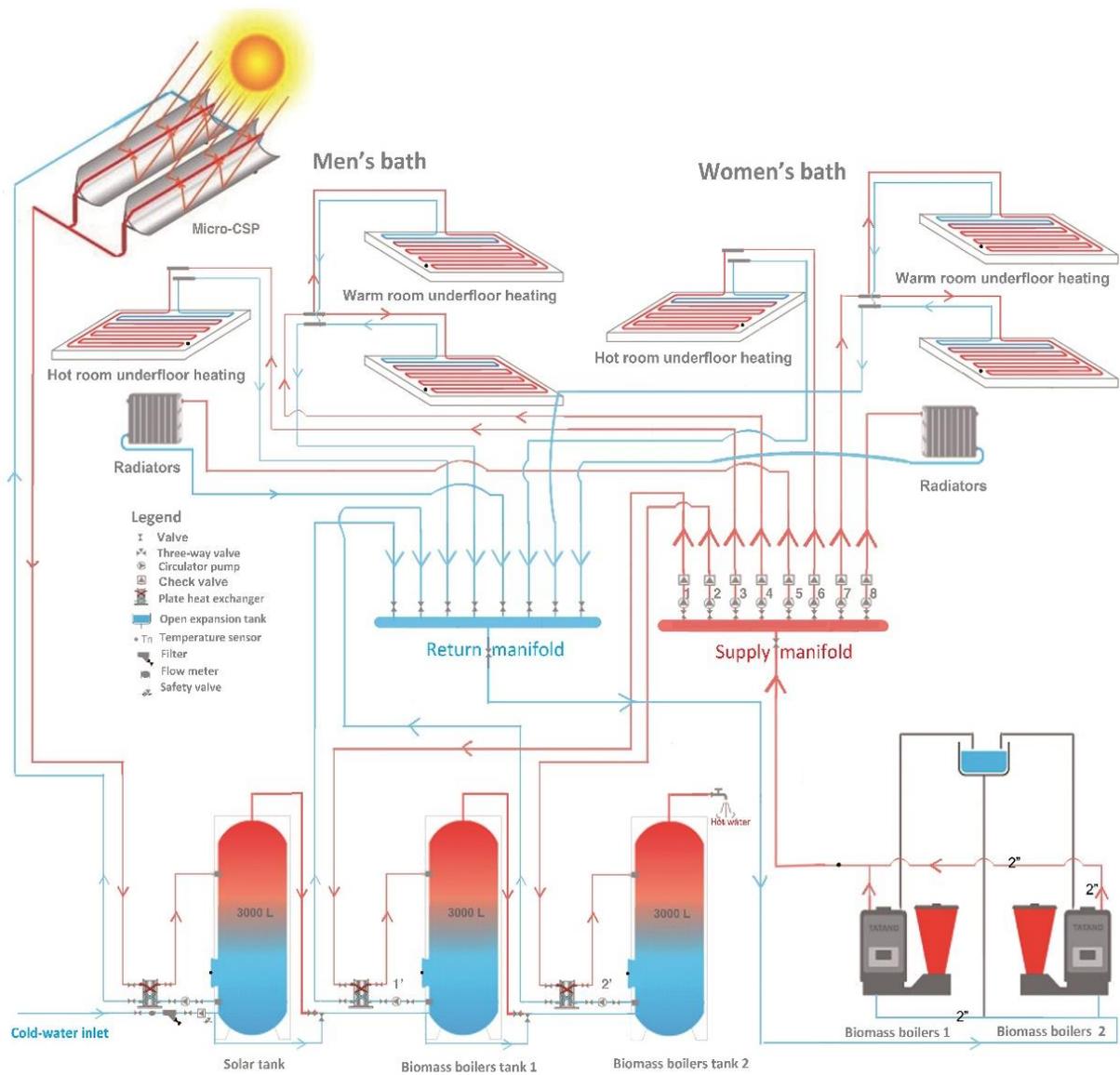


Figure 3 : Configuration du système

2.3. Le système étudié

Pour le moment le hammam n'utilise que les chaudières à biomasse pour satisfaire en attendant l'installation de la partie micro-CSP.

2.4. Les chaudières :

La chaudière (KALORIA, TATANO, Italie) est conçue et fabriquée pour produire de l'eau chaude à une température maximale de 85 ° C. Elle est destinée au chauffage dans un environnement clos, et utilise uniquement la biomasse combustible sous forme solide granulaire. Les caractéristiques de la chaudière utilisée sont regroupées dans le tableau 1 ci-dessous [3]:

Tableau 1 : Les caractéristiques de la chaudière

		KALORINA (Modèle KN 2010)
Puissance Nominale	<i>kW</i>	115
Classe d'appartenance de la chaudière		3
Pression maximale en service	<i>bar</i>	3
Température Maximale en service	<i>°C</i>	90
Contenu d'eau	<i>l</i>	240
Tension d'utilisation	<i>V</i>	230
Courant nominal	<i>A</i>	2,85
Fréquence	<i>Hz</i>	50-60
Puissance électrique	<i>W</i>	370

2.5. Le plancher chauffant

La figure 4 ci-dessous présente le système de plancher chauffant de la salle chaude, qui a une superficie de 29,6 m². La partie chauffée couvre l'ensemble du plancher et 0,8 m de la hauteur de paroi.

Le plancher est isolé avec une couche de 40 mm de EPS (polystyrène expansé). On a utilisé des tubes en cuivre de diamètre 16/18 mm, espacés de 7 cm dans le plancher et de 14 cm dans le mur. La salle tiède les mêmes caractéristiques techniques de la salle chaude en remplaçant le cuivre par le PEX (Polyéthylène réticulé).

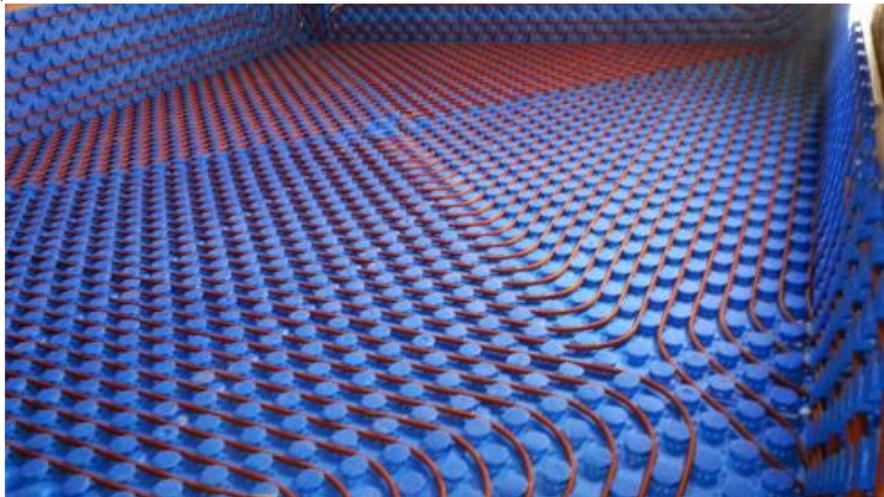


Figure 4 : Le système de plancher chauffant

3. DESCRIPTION DE LA METHODE EXPERIMENTATION UTILISEE

Les mesures de températures dans les différents emplacements ont été effectuées par des sondes Pt1000. Le contact thermique entre la pointe des sondes et le sol est assuré par une plaque fine en cuivre, et la sonde a été fixé par un bloc de bois.

On a utilisé comme système d'acquisition deux contrôleurs de température Deltasol bs plus, et pour la salle tiède le Datalogger DL3. Toutes les données sont transmises et enregistrées dans l'ordinateur.

3.1. Les conditions des mesures

Dans un premier temps, les chaudières ont été chauffées jusqu'à ce que leur température atteigne 95°C. Ensuite les circulateurs des différentes chambres ont été mis en marche. Le chauffage a été effectué le 09/12/2016 pendant la période allant de 14h30min à 20h30min. Le chauffage est effectué pour le hammam des femmes et pour deux ballons de stockage de capacité de 9m³ d'eau chacun. Des mesures de températures ont été réalisées dans la salle chaude et la première salle tiède.

Les températures de l'ambiance sont mesurées par des sondes PT1000 à une hauteur de 78 cm du sol avec une protection contre le rayonnement.

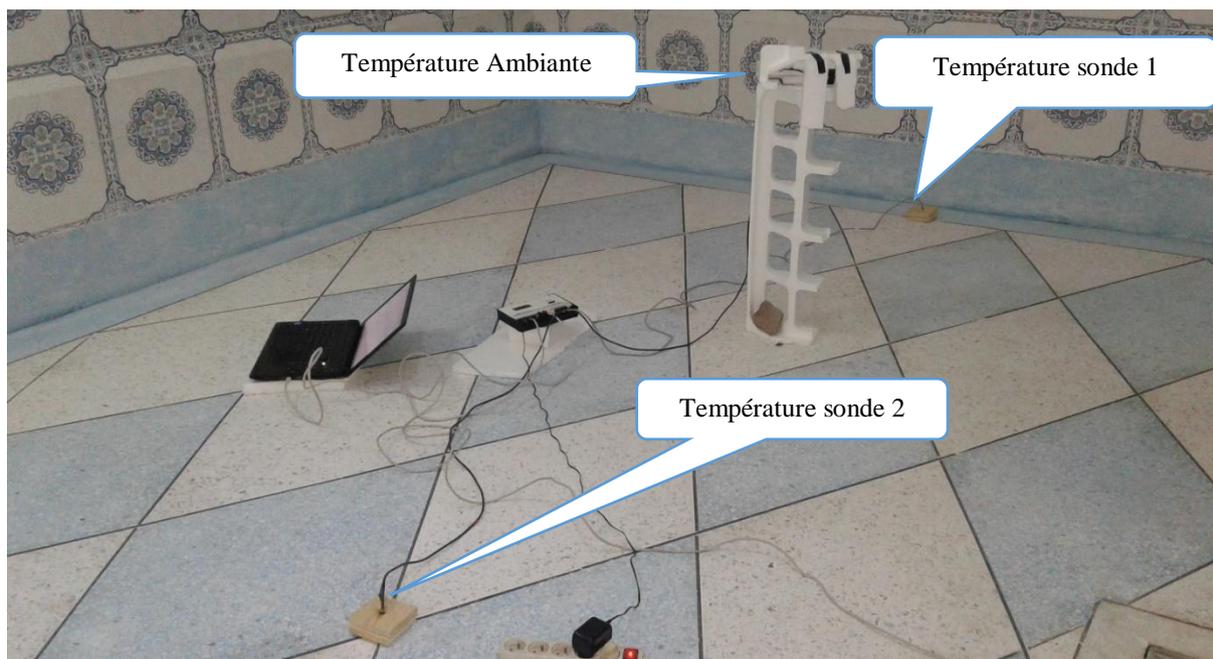


Figure 5 : La distribution des sondes dans la salle tiède

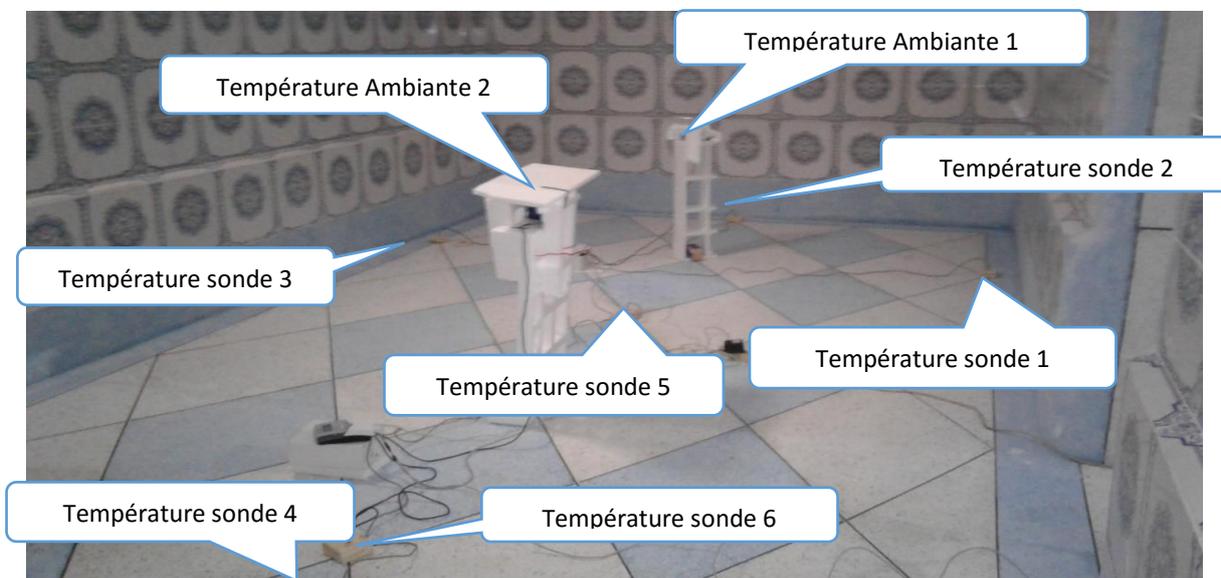


Figure 6 : La distribution des sondes dans la salle chaude

3.2. Les conditions météorologiques

L'étude a été menée pendant des journées bien ensoleillées avec une température moyenne de 15°C.

Tableau 2 : Les différentes températures pour les trois jours[4]

La journée	température maximale °C	température minimale °C	température moyenne °C
08/12/2016	23,0	9,0	15,6
09/12/2016	22,0	8,9	15,4
10/12/2016	22,0	9,0	15,0

4. RESULTAT ET DISCUSSION

4.1. La salle tiède :

Le profil de température dans la salle tiède est montré dans la figure 7. Après le démarrage, le système a pris 4h45min pour que la température de l'ambiance de la salle tiède atteigne 36,7°C ; c'est-à-dire une augmentation de 14,6°C. A cette température, le régulateur a arrêté le circulateur du plancher chauffant puisque cette température a été fixée comme température de consigne. Le refroidissement du plancher et par conséquence de la salle s'ensuit. Après 11 heures après l'arrêt du circulateur, la température de l'ambiance reste encore assez élevée (28,4°C).

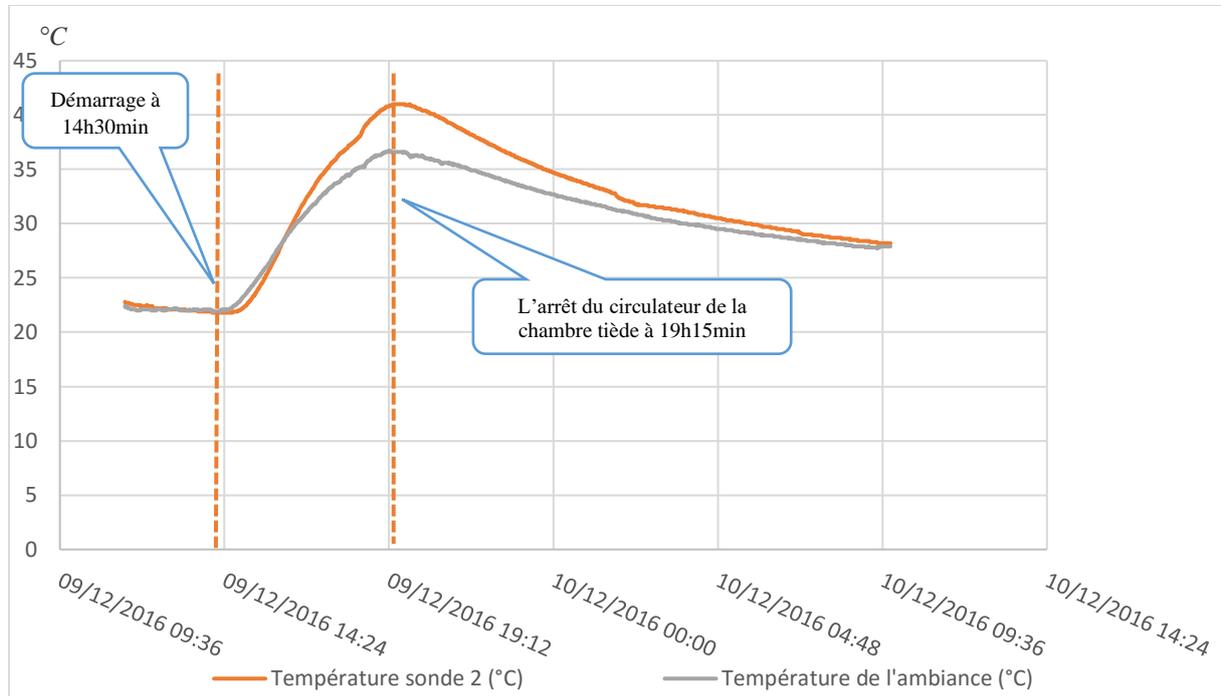


Figure 7 : Le profil des températures pour les différentes sondes installées à la salle tiède

4.2. La salle chaude

La figure 8 donne le profil de température du plancher chauffant et celle de l'ambiance en deux points. Après le démarrage, le système a pris 6 heures pour que la température de l'ambiance de la salle chaude atteigne 39,2°C ; c'est-à-dire une augmentation de 16,5°C. On remarque aussi une différence de température d'environ 12°C entre la température de l'ambiance et celle du plancher. Il est à noter que ces mesures ont été réalisées dans une atmosphère sèche. D'autres mesures dans des atmosphères humides sont en cours. On remarque aussi que 11 heures après l'arrêt du système la température de l'ambiance de cette salle restent relativement élevées 32°.

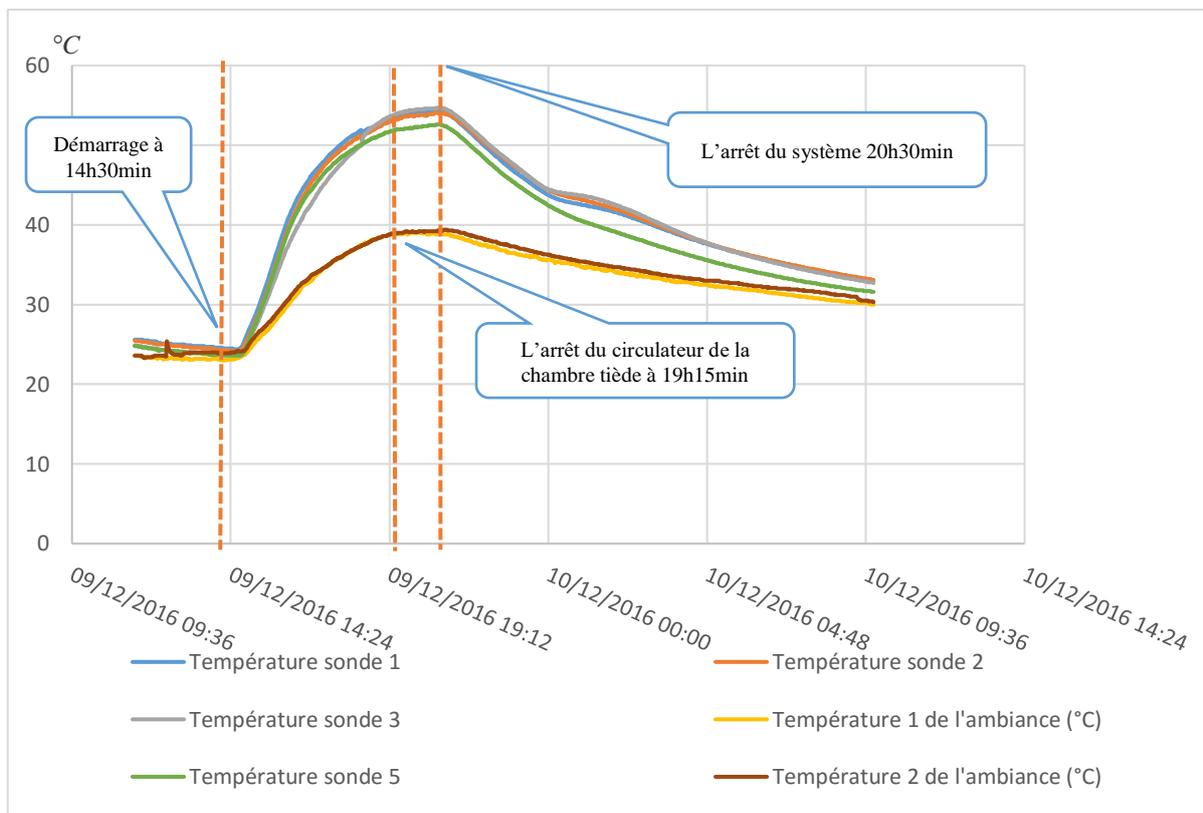


Figure 8 : Les profils des températures pour les différentes sondes installées à la salle chaude

Les températures de l'ambiance des deux salles sont comparées dans la figure 9. On remarque une différence 2,2 °C entre la température de l'ambiance de la salle chaude et celle de la salle tiède à 19h15min. Après l'arrêt du circulateur de la salle tiède la température de la salle chaude devient stable. Les températures enregistrées dans deux positions de la salle chaude ont la même allure et aucune différence significative entre elle n'est enregistrée.

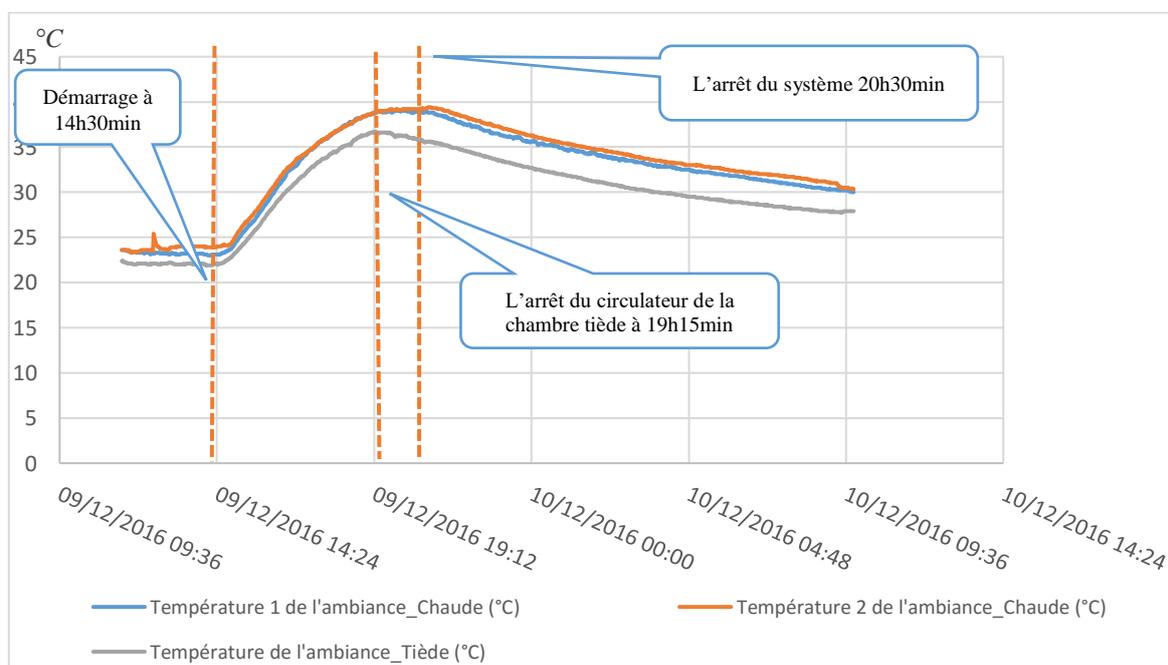


Figure 9 : La comparaison des températures de l'ambiance

On remarque aussi sur la figure 9 que les températures des deux positions des sondes qui se trouvent dans la salle chaude ont la même allure, avec une petite augmentation de celle de la sonde qui se trouve dans la position 2. Après l'arrêt complet du système, cette différence devient un peu plus importante. Cet effet peut être attribué à la convection naturelle puisque la sonde 1 est proche de la porte de la salle.

Conclusion

Dans ce travail, nous avons décrit un système hybride conçu pour le chauffage de l'ambiance et la production de l'eau chaude dans les hammams traditionnels et son principe de fonctionnement.

On peut relever, selon l'expérience menée dans les conditions météorologiques de la journée 09/12/2016 que le système a besoin de 4h45min pour augmenter la température de l'ambiance de 14,6°C pour la salle tiède et 6 heures pour augmenter la température de l'ambiance de 16,5°C de la salle chaude.

On constate aussi qu'après l'arrêt du système de chauffage des salles tièdes, la température de l'ambiance de la salle chaude devient constante puisque toute l'énergie cédée la chambre chaude s'évacue à la chambre tiède. Le système dispose d'une grande inertie thermique qui lui permet de stocker une importante énergie après l'arrêt du système.

Remerciements

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet HYBRIDBATH, financé par IRESEN dans le cadre de l'appel à projets InnoTherm/InnoBiomass 2014.

Références

- [1] M. President Association Hammams, "Hammams Marrakech," 2016.
- [2] Planetebois, "HAMMAMS - LE CAS DU MAROC," *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2013. [Online]. Available: <http://www.planetebois.org/glossaire/hammam/>. [Accessed: 03-Feb-2016].
- [3] TATANO, "Biomass boilers Solar systems." [Online]. Available: <http://www.tatano.com/115/1/Chaudières/2>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [4] OGIMET, "Professional information about meteorological conditions in the world," 2016. [Online]. Available: <http://www.ogimet.com/cgi-bin/gsodres?lang=en&ind=602300-99999&ord=DIR&ano=2016&mes=12&day=01&ndays=31>. [Accessed: 03-Jan-2017].

25-27 Octobre 2017

Monastir - Tunisie