



Etude de l'efficacité d'un chauffage solaire à basse température pour un habitat ancien

Ilhem ZEGHIB, Abla CHAKER

Laboratoire Physique Energétique, Université Constantine 1. ALGERIE

Email: imita75@yahoo.fr, chakamine@yahoo.fr

Résumé : L'utilisation des systèmes de chauffage solaire à basse température basée sur des radiateurs surdimensionnés sont devenues progressivement plus importantes dans le marché mondial. Cet article présente une simulation thermique d'un système de chauffage solaire à eau chaude à basse température intégré dans un habitat ancien, où la chaudière d'un chauffage traditionnel à fluide est remplacée par un réservoir de stockage chauffé par un ensemble de capteurs solaires et les radiateurs classiques existants par des radiateurs à basse température (50 °C/45 °C). Ce modèle numérique sera utilisé pour étudier les performances du système de distribution et évaluer l'efficacité énergétique de l'installation du chauffage solaire en termes de consommation d'énergie et de confort thermique. En comparant les résultats obtenus pour le même habitat chauffé par un système (haute température 75 °C/65 °C). Les résultats obtenus montrent que l'intégration de chauffage solaire dans un habitat individuel ancien utilisant des radiateurs à basse température, procure des conditions adéquates de confort tout en minimisant les consommations énergétiques jusqu'à 15 %, En outre cette technique de chauffage permet de améliorer l'efficacité globale du système de chauffage urbain de 13%.

Mots clés : Chauffage solaire, Radiateurs à basse température, droite et gauche.

1. Introduction

Le secteur du bâtiment est un des plus grands consommateurs d'énergie en Algérie, avec près de 46% de l'énergie annuelle produite. En outre il est responsable de plus de 25% des émissions de gaz à effet de serre [1]. Aussi et dans la perspective de réduire ces dépenses, des solutions énergétiques économiques et respectueuses de l'environnement doivent être envisagées. Actuellement de nombreuses études sont en cours afin de faire du domaine du bâtiment un exemple énergétique.

En Algérie, un grand nombre de logements sont anciens et mal isolés, donc de qualité thermique médiocre, nécessitant ainsi une grande consommation énergétique (utilisation de systèmes de chauffage à température élevée, 65 °C à 75 °C). Dans la perspective de réduire les dépenses énergétiques lors du chauffage (habitat économe), deux actions parallèles peuvent être menées ; l'une consisterait en l'amélioration de l'isolation, l'autre en intégrant des systèmes solaires actifs. Des travaux de recherche ont été effectués dans ce domaine par de nombreux auteurs. Ala Hasan et, Jarek Kurnitsk [2] ont développé un nouveau système de chauffage de l'eau à basse température combiné et qui utilise des radiateurs à basse température dans les chambres et des planchers chauffants dans les salles de bains. Les résultats ont montré que ce système de chauffage combiné peut maintenir une température de confort à l'intérieur de l'habitat. Les travaux de Marek Brand [3] ont montré que les sources renouvelables peuvent être intégrées avec le système de chauffage urbain et chauffer à basse température une maison individuelle construite dans les années 70 avec une température d'alimentation de 50°C. C'est dans cette approche que s'inscrit le travail présent dont l'objectif sera d'évaluer la température à l'intérieur d'un habitat ancien chauffé par des radiateurs surdimensionnés et de comparer nos résultats avec ceux obtenus par dans le cas d'un habitat chauffé par des radiateurs haute température associés à une chaudière traditionnelle. Une simulation détaillée du système entier basée sur le calcul des bilans thermiques au niveau des différents éléments du système a été effectuée pour évaluer les variations de la température de chaque partie du système, la température à la sortie du capteur et du réservoir de stockage ainsi que la demande énergétique du local et sa température intérieure et le rendement du système de chauffage.

2. Description

Notre étude porte sur un habitat individuel ancien, construit dans les années 1990, de type F3, avec une surface de 90 m², chauffé par des radiateurs à basse température dont l'apport d'énergie est assuré par des

capteurs solaires. Le chauffage solaire utilisé (figure 1) est constitué de deux capteurs solaires de 3m² de surface orientés vers le sud avec inclinaison de 45°, d'un réservoir de stockage vertical sans échangeur de chaleur, de 300 litres avec un isolant en laine de verre de 50mm d'épaisseur. Deux vannes, une à l'entrée de l'eau froide et l'autre à la sortie de l'eau chaude, deux pompes assurant la circulation du fluide par le circuit primaire entre le capteur et le réservoir d'une part et le circuit secondaire entre le réservoir de stockage et le système de distribution d'autre part [4], composé par des radiateurs a eau chaude basse température et des robinets thermostatiques pour contrôlé le débit complètent l'installation. Un système d'appoint a gaz, complètement indépendant du réservoir de stockage"constituant une chaudière à basse température" est utilisé comme chauffage auxiliaire. L'eau chauffée par les capteurs solaire et stockée dans le réservoir est utilisée pour alimenter les radiateurs et répondre aux besoins en chauffage au cours de période du mois de novembre au mois d'avril. Quand la température de l'eau à la sortie du réservoir est inférieure à la température d'alimentation de système chauffage de l'ordre de 50°C, l'eau se dirige vers l'appoint pour être réchauffée puis vers les radiateurs, par contre, si la température plus de 50°C, l'eau dans le stockage est utilisée directement pour répondre à la demande de chauffage et ira directement aux radiateurs [5].

Le réseau de distribution constitué de deux circuits de tuyauterie, le premier amène successivement l'eau chaude jusqu'aux radiateurs et le deuxième récupère l'eau à la sortie de chaque radiateur et la renvoie vers le réservoir. Le circuit de distribution est composé d'une conduite en cuivre de 20x22 mm ou véhicule l'eau à une température moyenne de 50C avec un débit de 108 l/h.

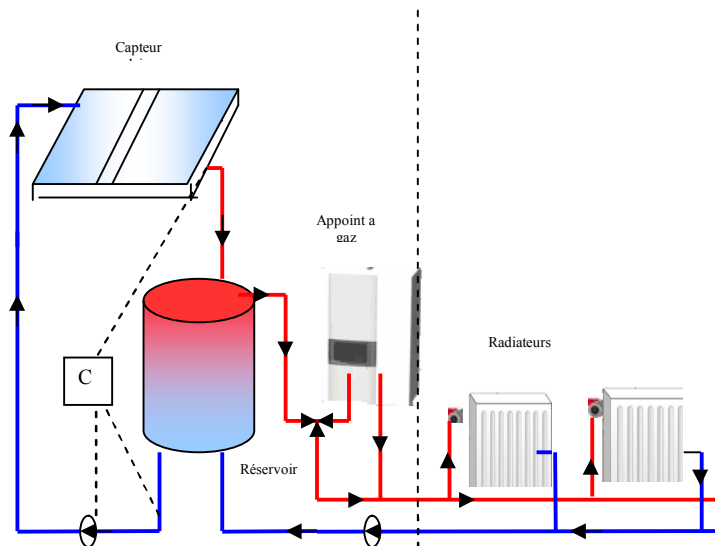


Figure 1 : Le chauffage solaire à basse température

3. Modélisation

3.1. Capteur solaire

La méthode consiste à découper le capteur en tranches fictives (6 mailles) dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur et à écrire les bilans des échanges qui interviennent aux niveaux de 7 noeuds, extérieure, intérieure de la vitre, absorbeur, tube, fluide caloporteur, intérieure et extérieure de l'isolant. Nous avons obtenu un système de sept équations différentielles ordinaires non linéaires.

Le bilan thermique en chaque noeud i donne [6]:

$$(\delta \rho Cp)_i \frac{\partial T_i}{\partial T} = \sum q_{ij} (T_j - T_i) + p_i \quad (1)$$

3.2. Réservoir de stockage

Le ballon de stockage modélisé prend en compte la stratification de la masse d'eau selon la verticale du ballon. L'approche de la stratification consiste à diviser la masse d'eau en n volumes complètement mélangés. Ensuite un bilan est réalisé pour chaque noeud. L'équation d'énergie tient compte du gain d'énergie du collecteur, de l'énergie perdue dans l'environnement, et de l'énergie utilisée par la charge [7]. A chaque bilan correspond

une équation différentielle du premier ordre. Le système de n équations est résolu afin d'obtenir les températures de chaque noeud. Dans notre étude, le réservoir est divisé en 150 nœuds.

Le bilan thermique de la tranche i s'écrit à tout instant par [7]:

$$(mCp)_{r,i} \frac{dT_{r,i}}{dt} = \beta_c^i Q_C + \beta_l^i Q_{Lo} + Q_{loss} + Q_{con} \quad (2)$$

3.3. Les besoins de chauffage

Les besoins nets en énergie représentent l'énergie que les systèmes de chauffage doivent fournir à l'ambiance pour maintenir une température intérieure définie (température de consigne) afin de compenser les déperditions thermiques en hiver. Les besoins en chauffage de chaque pièce sont calculés par équilibre thermique entre les déperditions par les parois, opaques et vitrées, et par renouvellement d'air et la puissance de chauffage à fournir. Ce calcul s'effectue pour les conditions de référence. Dans notre étude nous avons utilisé les équations contenues dans le document technique réglementaire, 'DTR C 3-2' selon la réglementation Algérienne [8].

Les déperditions totales D_j d'un volume j

$$Q_{los,j} = (Q_{tra})_j + (Q_{air})_j \quad (3)$$

Les déperditions totales D pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont

$$Q_{los} = \sum Q_{los,j} (T_b - T_a) \quad (4)$$

Les besoins en chauffage sont :

$$Q_h = Q_{los} - n \cdot Q_i \quad (5)$$

Avec

$$Q_i = Q_{s,w} + Q_{s,wal} + Q_{peo} + Q_{app} + Q_l \quad (6)$$

3.4. Radiateurs à basse température

L'habitat individuel étudié est équipé de radiateurs à eau chaude basse température pour répondre aux besoins de chauffage. Ces radiateurs utilisent une température d'eau de départ faible, généralement comprise entre 45 et 50°C néanmoins de nos jours, tous les constructeurs de radiateurs fabriqués en pays de l'Union européenne définissent leur puissance calorifique suivant la norme européenne EN 442 DeltaT égal de 50°C, 75/65/20°C. En raison d'une température d'alimentation plus basse, la surface d'échange des radiateurs basse température avec l'air ambiant doit être plus grande.

La température de retour d'eau dans des radiateurs est définie par [9] :

$$C_r \frac{dT_{rs}}{dt} = \dot{m}_r Cp (T_{re} - T_{rs}) + (UA)_r (T_b - T_{rs}) \quad (7)$$

La température du local est donnée par l'expression [10] :

$$C_b \frac{dT_b}{dt} = \dot{m}_r Cp (T_{re} - T_{rs}) - K_b (T_b - T_a) \quad (8)$$

3.5. Rendement global de l'installation

L'objectif de notre système de chauffage solaire est de diffuser dans chaque pièce et à chaque moment exactement la quantité de chaleur nécessaire pour atteindre et maintenir la température de confort au niveau souhaité. Dans notre installation de chauffage solaire la chaleur est d'abord produite par le capteur solaire et stockée dans un réservoir, puis elle est distribuée vers les radiateurs à basse température via un réseau de tuyauteries et elle est finalement émise par les corps de chauffe dans le local. La gestion de cette chaleur est contrôlée et dirigée par le système de régulation. L'installation de chauffage est donc composée de 5 parties différentes qui fonctionnent toutes avec leur propre rendement. Le produit de ces cinq rendements partiels détermine le rendement global de l'installation.

Le rendement global de l'installation de chauffage solaire est donné par [11]:

$$\eta_{inst} = \eta_{prod} \cdot \eta_r \cdot \eta_{dist} \cdot \eta_{emis} \cdot \eta_{rég} \quad (9)$$

4. Résultats et discussions

Un code de calcul est développé en langage Fortran pour la résolution des équations de bilan thermique pour les différents éléments du système. Le programme calcule chaque minute la température à la sortie du capteur, du réservoir de stockage et des radiateurs ainsi que la température intérieure du local et le rendement global du système de chauffage. Les paramètres d'entrée de simulation incluent les conditions climatiques concernant le site de Adrar (27.10 N, 0.17 W, altitude 279 m) au sud de l'Algérie pour quatre jours successifs au mois de janvier où les températures minimale et maximale moyennes sont respectivement de l'ordre de 5°C et de 19°C. Les valeurs mesurées de l'éclairement solaire global et de la température extérieure ont été effectuées du 3 au 6 janvier 2014 et enregistrées à l'aide d'une mini station météorologique à chaque minute (Fig.2).

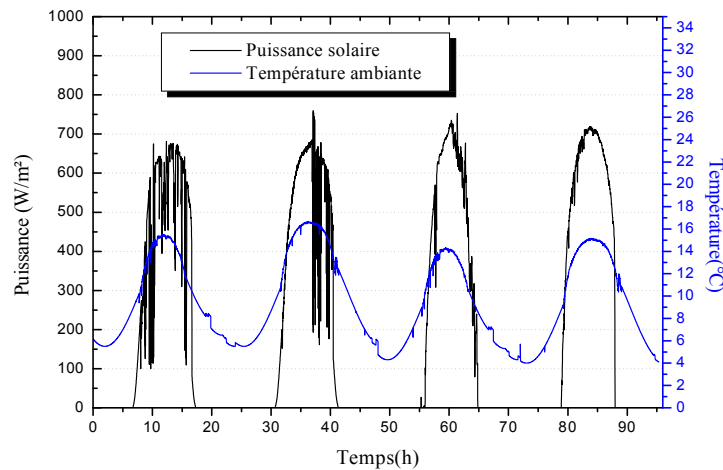


Figure 2 : Variation de l'éclairement solaire et de la température ambiante durant 4 jours

4.1. La variation temporelle de la température du capteur et du réservoir

La variation de la température à l'entrée et à la sortie du collecteur et les températures des couches supérieures et inférieures de l'eau chaude du réservoir de stockage pour quatre jours de chauffage sont illustrées par la figure 3. L'examen des courbes de cette figure permet de noter que la température à la sortie du capteur atteint 54°C. En outre, nous remarquons une différence entre la température en haut du réservoir (45°C) et en bas du réservoir (42°C), due à la stratification. Par ailleurs, une variation de la température à l'entrée du capteur est observée au début de la journée et après 13 h, résultant probablement des interruptions de fonctionnement de la pompe de circulation. En effet, quand la température du réservoir est plus élevée que celle du capteur, le régulateur stoppe le circulateur. Dès que l'eau à l'intérieur du capteur est plus (de quelques degrés) à celle du ballon solaire, la pompe de circulation est mise en marche.

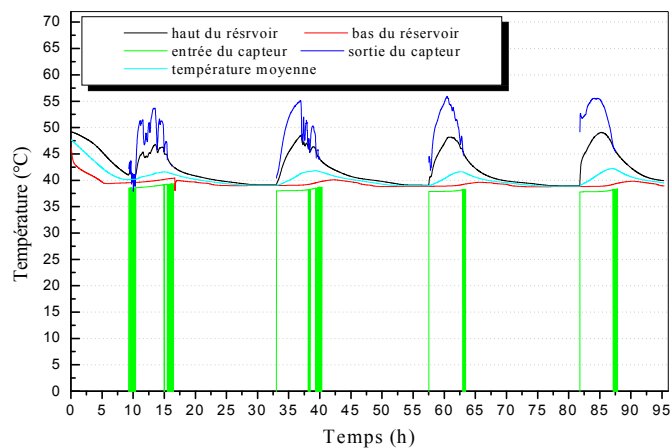


Figure 3 : Variation de la température à l'entrée et sortie du capteur et le réservoir

4.2. La puissance émise par les radiateurs

La pièce que nous avons choisie dans le cadre de notre étude est une chambre donnant sur les façades Est et Nord d'un habitat de 20m² de surface, avec un ouvrant de 1.5 mètres chauffé par un radiateur. L'observation de la figure 4 montre que les besoins de chauffage sont maximaux la nuit et minimales au cours de la journée entre 10h et 15 h. Ceci s'explique par le fait que L'ensoleillement minimise considérablement les besoins de chauffage. On remarque aussi pour un débit d'eau constant (de l'ordre de 108 l/h) la puissance émise par le radiateur au cours de la journée, est élevée par rapport aux besoins donc il se produit une surchauffe dans le local (élévation de la température). Pour résoudre ce problème il faut utiliser un régulateur pour contrôler le débit de l'eau dans les radiateurs.

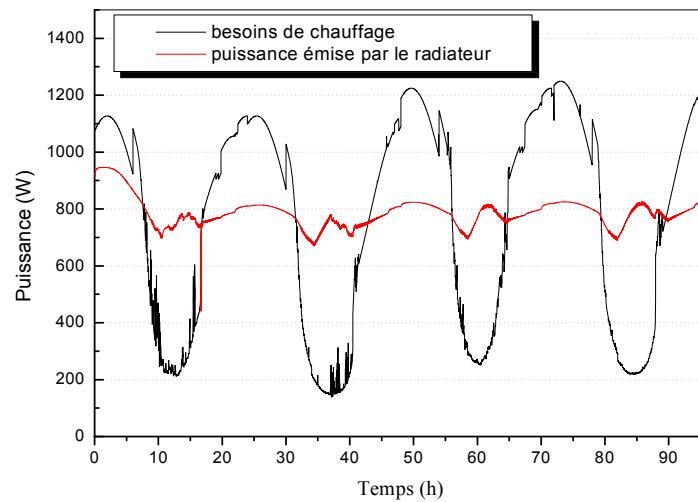


Figure 4 : Variation des besoins de chauffage de la chambre et la puissance émise par les radiateurs

4.3. Le rendement total de l'installation

Le rendement total de l'installation de chauffage solaire à basse température au cours des quatre jours choisis est représenté sur la figure 5. Il est aisé de noter que ce dernier est un peu plus élevé que celui d'un chauffage traditionnelle, pour une même puissance d'énergie fournie à l'ambiance. Ce qui nous mène à conclure que le chauffage solaire à basse température améliore le rendement de l'installation de chauffage urbain de 15%.

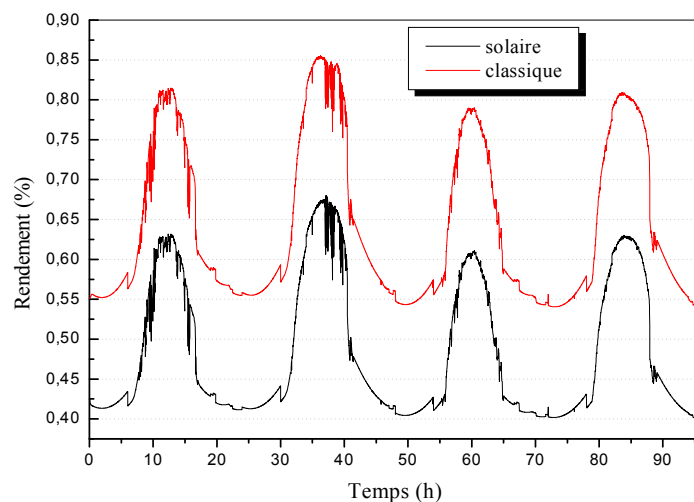


Figure 5 : Variation temporelle du rendement de l'installation (chauffages classique et solaire)

4.5. La température de la chambre

L'observation de la figure 6 permet de constater que la température de la chambre durant les quatre jours étudiés, est engendrée entre 14 °C (la nuit) et 24 °C (la journée) dans le cas où le chauffage solaire est utilisé alors qu'elle est de 20 °C (la nuit) et 29°C (la journée) pour le chauffage classique. Cette différence de température entre le jour et la nuit est due au débit du système de chauffage utilisé qui est de 108l/h.

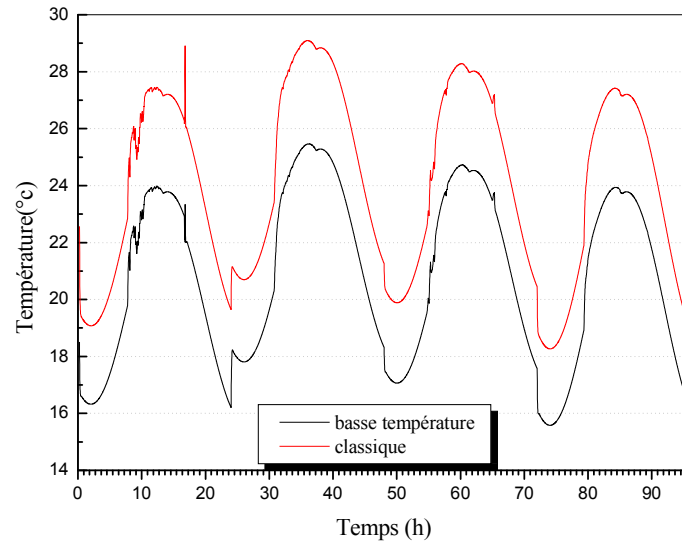


Figure 6 : Variation temporelle de la température de la chambre (chauffages classique et solaire)

4.6. La puissance fournie par la chaudière

La figure 7 montre clairement que le chauffage solaire à basse température procure une économie d'énergie qui peut atteindre 20% par rapport à un autre traditionnel ancien. Cette économie est due à la réduction des pertes thermiques durant la période de chauffage, car le système fonctionne à basses températures.

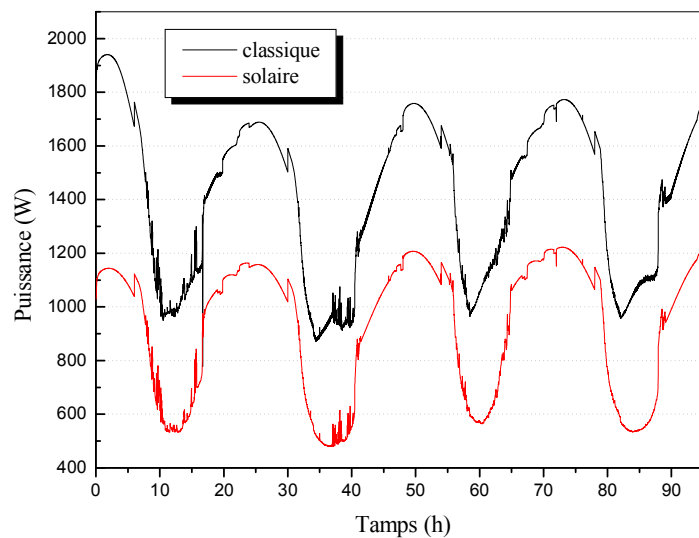


Figure 7 : Variation temporelle de la puissance fournie par la chaudière (chauffages classique et solaire)

Conclusion

Cette étude porte sur une simulation numérique d'un chauffage solaire actif à eau dont l'apport d'énergie est assurée par des capteurs solaires connectés à des radiateurs de chauffage central surdimensionnés, afin de fonctionner en basse température de l'ordre de 50°C, les performances thermiques du système ont été analysées durant quatre jours successive.

Les résultats obtenus ont montré que cette technique de chauffage solaire et procure non seulement le même confort thermique que celui généré par des radiateurs classiques mais permet également de améliorer le rendement de l'installation de 13% et de diminuer les pertes de distribution, on économisant près de 15% d'énergie conventionnelle.

Nomenclature

Symbole

Q_C	puissance provenant du capteur, W
Q_{Le}	puissance perdue de soutirage, W
Q_{loss}	puissance cédée à l'espace environnant, W
Q_{con}	puissance causé par la conduction entre les nœuds, W
Q_i	apports internes, W
Q_{app}	apport dus aux occupants
Q_l	apports dus à l'éclairage
T	température, K
n	facteur de réduction.
C	capacité thermique J /°C

Symboles grecs

β_c^i	fonction de contrôle circuit capteur
β_i^i	fonctions de contrôle circuit soutirage
η	rendement

Indices

r	réservoir
b	chambre
a	ambiante
re	entrée du radiateur
ri	sortie du radiateur
i	nœud
j	volume
prod	production
dist	distribution
émis	émission
rég	régulation

Références

- [1] S. Menhoudj, D. Sifodil, Etude expérimentale d'un système solaire actif-PSD, *Revue des Energies Renouvelables*, Volume 15, Page 479–488, 2012.
- [2] Ala Hasan, Jarek Kurnitski, A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating, *Energy and Buildings*, Volume 41, Page 470–479, 2009.
- [3] Marek Brand, Svend Svendsen, Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment, *Energy*, Volume 62, Page 311–319, 2013.
- [4] Afif Hasan, Sizing solar space heating system: a case study, *Renewable Energy*, Volume 16, Page 720–724, 1999.
- [5] M. Bojic, S. Kalogirou, K. Petronijevic, Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model, *Renewable Energy*, Volume 27, Page 441–452, 2002.
- [6] C. Cristofari, G. Notto, P. Poggi, Modelling and Performance of a copolymer Solar Water Heating Collector, *Solar Energy*, Volume 72, Page 99–112, 2002.
- [7] Cristofari, G. Notton, Influence of the flow rate and the tank stratification degree on the performances of a solar flat-plate collector, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 42, Page 33–44, 2003.
- [8] Ministère de l'habitat, Document Technique Réglementaire (D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4), Réglementation thermique des bâtiments d'habitation « Règles de calcul des déperditions calorifiques », 1998.
- [9] Lei Haiyan, Pall Valdimarsson, District heating modelling and simulation, *Geothermal Reservoir Engineering*, 2009.
- [10] Baoping Xu, Lin Fu, Hongfa Di, Dynamic simulation of space heating systems with radiators controlled by TRVs in buildings, *Energy and Buildings*, Volume 40, Page 1755–1764, 2008.
- [11] Mikk Maivel, Jarek Kurnitski, Low temperature radiator heating distribution and emission efficiency in residential buildings, *Energy and Buildings*, Volume 69, Page 224–236, 2014.