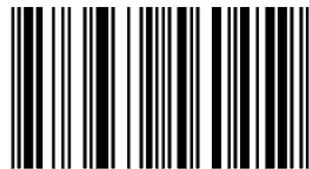


La lutte contre le changement climatique, est aujourd'hui importante. C'est pourquoi l'utilisation d'énergie renouvelable telle que l'énergie solaire semble avoir un avenir prometteur. Les régions désertiques du grand Sahara d'Algérie, recevant jusqu'à 2900 kWh/m²/an de rayonnement direct, fournissent largement la surface nécessaire à une production massive d'énergie renouvelable. Dans ce contexte, ce présent travail a pour objectif d'utiliser l'énergie solaire pour un plancher chauffant comme système de chauffage propre dans la région d'ADRAR. Le système est constitué d'une canalisation dans lequel circule le fluide caloporteur chauffé par l'intermédiaire d'un insolateur. Cette canalisation se trouve en dessous du plancher. Nous avons modélisé numériquement les paramètres opératives de cette installation solaire P.S.D pour obtenu un bon rendement thermique. Dans le béton l'écartement des tubes, la conductivité thermique et l'épaisseur du béton ont été modélisé. Dans l'habitat la température superficielle de la dalle est aussi modélisée. Nous avons également analysé l'effet de débit du fluide sur la propagation de la chaleur.



Né en 1980; Enseignant chercheur au Centre Universitaire de Tissemsilt (Algérie); Membre au laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), l'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran. Doctorant dans le domaine des énergies renouvelables au Laboratoire de Mathématiques et Physique (LAMPS) de l'Université de Perpignan (France).



978-3-639-56045-9



Abdellatif Oudrane

L'art et la modernité du chauffage solaire: Plancher chauffant

Optimisation énergétique de l'installation solaire: Plancher Solaire Direct

Abdellatif Oudrane

L'art et la modernité du chauffage solaire: Plancher chauffant

Abdellatif Oudrane

**L'art et la modernité du chauffage
solaire: Plancher chauffant**

**Optimisation énergétique de l'installation solaire:
Plancher Solaire Direct**

Éditions universitaires européennes

Impressum / Mentions légales

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Information bibliographique publiée par la Deutsche Nationalbibliothek: La Deutsche Nationalbibliothek inscrit cette publication à la Deutsche Nationalbibliografie; des données bibliographiques détaillées sont disponibles sur internet à l'adresse <http://dnb.d-nb.de>.

Toutes marques et noms de produits mentionnés dans ce livre demeurent sous la protection des marques, des marques déposées et des brevets, et sont des marques ou des marques déposées de leurs détenteurs respectifs. L'utilisation des marques, noms de produits, noms communs, noms commerciaux, descriptions de produits, etc, même sans qu'ils soient mentionnés de façon particulière dans ce livre ne signifie en aucune façon que ces noms peuvent être utilisés sans restriction à l'égard de la législation pour la protection des marques et des marques déposées et pourraient donc être utilisés par quiconque.

Coverbild / Photo de couverture: www.ingimage.com

Verlag / Editeur:

Éditions universitaires européennes

ist ein Imprint der / est une marque déposée de

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Allemagne

Email: info@omniscryptum.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Impression: voir la dernière page

ISBN: 978-3-639-56045-9

Zugl. / Agréé par: L'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran en Algérie (2011)

Copyright / Droit d'auteur © Abdellatif Oudrane

Copyright / Droit d'auteur © 2017 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Tous droits réservés. Saarbrücken 2017



DÉDICACE

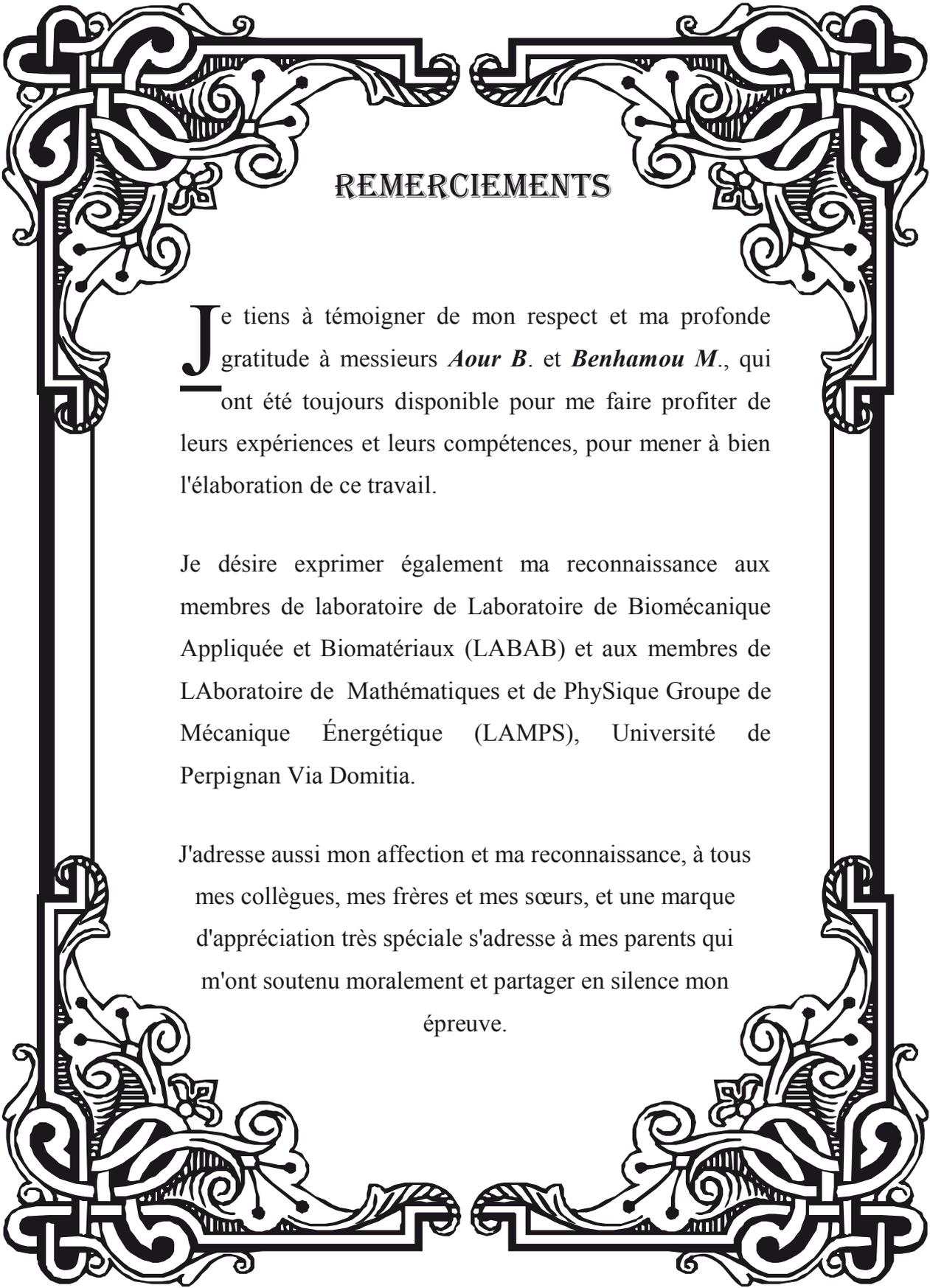
Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère,

Mon père,

Mes frères,

Ma femme.



REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner de mon respect et ma profonde gratitude à messieurs *Aour B.* et *Benhamou M.*, qui ont été toujours disponible pour me faire profiter de leurs expériences et leurs compétences, pour mener à bien l'élaboration de ce travail.

Je désire exprimer également ma reconnaissance aux membres de laboratoire de Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB) et aux membres de Laboratoire de Mathématiques et de Physique Groupe de Mécanique Énergétique (LAMPS), Université de Perpignan Via Domitia.

J'adresse aussi mon affection et ma reconnaissance, à tous mes collègues, mes frères et mes sœurs, et une marque d'appréciation très spéciale s'adresse à mes parents qui m'ont soutenu moralement et partager en silence mon épreuve.

RÉSUMÉ

Le soleil constitue une source d'énergie gratuite et non polluante, que nous proposons de valoriser au niveau local grâce à diverses technologies. Le secteur de la maison est propice à ce type d'innovation pour plusieurs raisons. Techniquement, des surfaces importantes (toitures, murs) peuvent être utilisées pour le captage solaire. Economiquement, les surcoûts peuvent être réduits grâce à une intégration architecturale appropriée. Socialement, la réduction des charges de chauffage est un atout supplémentaire. De par sa technologie et de son fonctionnement, le plancher solaire direct (PSD) optimise le rendement solaire en injectant l'énergie solaire reçu directement (pas d'échangeur) dans l'émetteur qu'est : la dalle de plancher chauffant. L'inertie thermique de cette dernière permet d'accumuler à basse température la chaleur du soleil et la restituer sur les 1 ou 2 jours. Grâce à ce stockage d'énergie à très basse température, le capteur fonctionne lui aussi à basse température et donc avec un rendement excellent et aussi plus longtemps chaque jour, en période de chauffage.

L'objectif de ce présent travail est la détermination des paramètres constitutifs et opératoires optimaux du plancher chauffant afin d'obtenir un bon rendement mensuel avec une température de plancher confortable. Pour atteindre cet objectif un programme de calcul a été écrit en langage FORTRAN avec une interface graphique en DELPHI pour faciliter le dimensionnement et l'optimisation des paramètres géométriques et thermiques du PSD. L'étude a été menée en se basant sur des données climatiques de la région d'Adrar. Une étude détaillée des performances thermiques d'un PSD a été présentée en se basant sur un système simple constitué d'une dalle épaisse et d'un capteur plan solaire. Les effets des différents paramètres (l'épaisseur de la dalle, l'écartement des tubes, la résistance thermique du revêtement du sol, la surface de captation,...etc.) influençant l'efficacité d'un tel système (température superficielle du plancher et rendement thermique mensuel) ont été analysés et discutés. Les résultats obtenus, nous ont permis de mettre le point sur les dimensions et les conditions optimales de fonctionnement du PSD considéré en se basant sur les données climatiques de la région d'Adrar pendant la saison d'hiver.

Mots clés: Energie solaire ; Capteur plan ; Bilan thermique ; Performances énergétiques; PSD.

ABSTRACT

The sun is a source of free energy and not polluting, that we propose to enhance it at the local level through various technologies. The area of the home is conducive to this type of innovation for several reasons. Technically, large areas (roofs, walls) can be used to capture solar energy. Economically, the additional costs can be reduced through an appropriate architectural integration. Socially, reducing heating loads is an added asset. Because of its technology and its operation, the direct solar floor (DSF) enhances performance by injecting solar energy received directly (without exchanger) in the transmitter that is: the floor slab of heating. The thermal inertia of the latter can accumulate at a low temperature heat from the sun and releases it on 1 or 2 days. With this energy storage at very low temperatures, the sensor also operates at low temperature and therefore with excellent performance and also for longer each day, during heating.

The aim of the present work is the determination of optimal dimensions and operating parameters of the floor heating in order to obtain a good monthly return with a comfortable floor temperature. To achieve this object, a computer program was written in FORTRAN with a graphical interface by DELPHI to facilitate the design and optimization of thermal and geometrical parameters of PSD. The study was based on climate data from the region of Adrar. A detailed study of thermal performance of a PSD has been presented based on a simple system consisting of a thick slab and a flat plate solar. The effects of various parameters (the thickness of the slab, the spacing of the tubes, the thermal resistance of flooring, the area of capture, etc.), influencing the effectiveness of such system (surface temperature of the floor and thermal efficiency) was analyzed and discussed. The results obtained, allow us to determine the dimensions and optimum operating conditions of the DSF considered based on climatic data of the Adrar region during the winter season.

Keywords: Solar energy; Sensor plan; Heat balance; Energy performance; PSD.

ملخص

إن الشمس من أهم مصادر الطاقات الجديدة والمتجددة التي جذبت اهتمام الدول النامية والدول السائرة في طريق النمو في العصر الحديث من ناحية مدى حياتها ووفرتها الغير محدودة ونظافة استعمالها في الوسط البيئي مقارنة بالطاقات الحفرية القديمة وتأثيراتها على البيئة و الكائن الحي. انطلاقا من هذا الطرح المحفز نتناول في هذه الدراسة تأثير العوامل الهندسية والحرارية الداخلة في تركيب البنية التحتية لجهاز بلاطة التدفئة المباشرة بالطاقة الشمسية (PSD) على الفعالية الحرارية لهذا الجهاز(المرودية والحرارة السطحية للوحة ومدى وملائمتها عند استعمالها في منطقة أدرار.

إن مبدأ التدفئة بواسطة هذا الجهاز يرتكز أساسا على تمرير سائل ناقل للحرارة مسخن بواسطة الألواح الشمسية في أنابيب بلاطة التدفئة المباشرة بدون استخدام صهاريج تخزين وسيطة، ومن ضمن الأسباب التي دفعتنا لدراسة هذا النوع من الأجهزة هي أولا: اعتمادها على الطاقة الشمسية غير المضرة للبيئة كمصدر للتشغيل، ثانيا: التكلفة وسهولة التركيب والمرودية. فمن أجل ضمان وجود تكييف للمناخ على مدار السنة ، ارتأينا استغلال التدفئة بواسطة نظام بلاطة التدفئة المباشرة PSD ، مثل الدارة الهيدروليكية المكيفة.

تتم هذه الدراسة في تامين تركيب التدفئة بواسطة بلاطة التدفئة المباشرة PSD وذلك من خلال تحديد وبشكل دقيق مدى تأثير أبعاد العناصر الداخلة في البنية التحتية لبلاطة التدفئة المباشرة، إذ سمحت لنا النتائج النظرية التي تم الحصول عليها بتحديد الأبعاد المثالية للعناصر المكونة لبلاطة التدفئة ومساحة الألواح الشمسية وغيرها من العوامل التي تؤثر في الحصيلة الحرارية لبلاطة التدفئة المباشرة PSD.

في الأخير ومن اجل الحصول علي أحسن تركيب مثالي لبلاطة التدفئة PSD قمنا بصياغة برنامج رقمي بلغة الفورتران مع واجهة بلغة دلفي. هذا البرنامج الرقمي يسمح بحساب المحصلة الحرارية المثلى والحرارة السطحية الملائمة لراحة الإنسان قبل الشروع في إنشاء تركيب PSD.

كلمات المفاتيح : الطاقة الشمسية ؛ الألواح الشمسية ؛ الحوصلة الحرارية ؛ المردودية الطاقوية ، بلاطة التدفئة الشمسية المباشرة.

Table des matières

Dédicace	1
Remerciements	2
Résumé	3
Table des matières	6
Nomenclatures	10
Liste des figures	14
Liste des tableaux	17
Introduction générale	19

Chapitre 01 Eléments de base de l'énergie solaire

1.1. Introduction	23
1.2. Exploitation d'énergie solaire	25
1.3. Quelques caractéristiques du Soleil	27
1.4. Gisement solaire	28
1.4.1. Sphère céleste	28
1.4.2. Coordonnées célestes	29
1.4.2.1. Coordonnées géographiques	29
1.4.2.2. Coordonnées horaires	29
1.4.2.3. Coordonnées horizontales	30
1.5. Le temps solaire	31
1.5.1. Le temps solaire vrai (<i>TSV</i>)	31
1.5.2. Le temps solaire moyen (<i>TSM</i>)	31
1.5.3. Le temps civil	31
1.5.4. Le temps universel (<i>TU</i>)	31
1.5.5. Le temps légal (<i>TL</i>)	32
1.6. Constante solaire	32
1.7. Répartition des rayonnements solaire	33
1.8. Direction du rayonnement solaire	35
1.9. La fraction d'insolation	36
1.10. Mesure des durées d'ensoleillement	36
1.11. Modes des échanges thermiques dans un système	38
1.11.1. L'échange par conduction	38
1.11.2. Transfert de chaleur par convection	39
1.11.3. Transfert de chaleur par rayonnement	42
1.11.4. Facteurs de forme	44

Chapitre 02

Les capteurs solaires plans : description et fonctionnement

2.1. Introduction	48
2.2. Le captage	48
2.2.1. Principes de fonctionnement	48
2.2.2. Bilan énergétique global	51
2.2.3. La puissance utile d'un capteur solaire	54
2.2.4. Seuil de démarrage	56
2.2.5. Température de stagnation	57
2.3. Choix de l'orientation et de l'inclinaison de capteur solaire	57
2.3.1. Influence de l'orientation et de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée	58
2.3.1.1. Inclinaison et orientation des capteurs	59
2.4. Le stockage et transfert de l'énergie	59
2.4.1. Le stockage	60
2.4.2. Les échangeurs de chaleur	61
2.5. Les capteurs solaires plans	61
2.5.1. Les capteurs plans vitrés	61
2.5.2. Constitution du capteur plan vitré	62
2.5.3. Description des éléments constructifs du capteur plan	63
2.5.4. Propriétés optiques des matériaux	65
2.6. L'effet de serre	67
2.7. Systèmes de chauffage solaire	67
2.7.1. Rudiments d'un système de chauffage solaire	69
2.7.2. Systèmes de chauffage solaire passifs	70
2.7.3. Systèmes de chauffage solaire actifs	71
2.7.4. Système de stockage	73
2.7.5. Système de distribution	75
2.8. La technique du Plancher Solaire Direct (P.S.D)	75
2.8.1. Principe de fonctionnement du PSD à basse température	77
2.8.2. Le fonctionnement du PSD avec ECS	78
2.8.3. Pourquoi plancher chauffant/rafraîchissant ?	80
2.8.4. L'effet de système de chauffage (P.S.D) sur la santé	80

Chapitre 03

Calcul des planchers solaires directs

3.1. Introduction	82
3.2. Structure du plancher solaire direct étudié	82
3.2.1. Les deux familles de la dalle du plancher solaire direct	83
3.2.2. Schéma de circuits	85

3.2.3. Le couplage direct capteur-dalle	85
3.2.4. Régulation du circuit	85
3.3. Calcul des bilans thermiques des planchers solaires directs	86
3.4. Les caractéristiques physiques d'un plancher réversible	89
3.5. La dalle du plancher chauffant	88
3.5.1. Coefficient d'émission superficiel global	88
3.5.2. Résistances thermiques des différents matériaux en revêtement de sol	89
3.5.3. L'isolation thermique de la dalle chauffante	89
3.5.4. Les tubes de la grille de chauffe	89
3.6. Les capteurs solaires	89
3.6.1. Débit	89
3.6.2. La régulation différentielle	89
3.7. Les conditions extérieures	89
3.8. Calcul d'un rendement mensuel	89
3.9. Le ratio de captation	89
3.10. La valeur d'énergie solaire reçue	90
3.11. Le coefficient énergétique "e"	90
3.12. Températures intérieures et extérieures	90
3.13. Le rendement thermique du plancher solaire direct	90
3.13.1. Calcul analytique des rendements	90
3.13.2. Les facteurs de correction	90
3.14. Corrections pour dalle épaisse	91
3.14.1. Corrélation des diamètres des tubes du plancher	91
3.14.2. Corrélation des écartements des tubes du plancher	91
3.14.3. Corrélation du pré-dalle (cas standard: tubes contre l'isolant)	91
3.14.4. Corrélation de l'épaisseur de la dalle épaisse	92
3.14.5. Corrélation de Conductivité thermique du béton	92
3.14.6. Corrélation de l'isolation thermique inférieure	92
3.14.7. Corrélation de Revêtement de sol	92
3.14.8. Facteur correctif global (F_i)	92
3.15. Calcul des températures superficielles du plancher	92
3.16. Les besoins moyens journalières du chauffage BV	92
3.17. Le taux de couverture moyen mensuel ($Taux_{C.M.M}$)	92
3.18. Le taux de couverture moyen annuelle ($Taux_{C.M.A}$)	92
3.19. L'économie annuelle (ECO_A)	93
3.20. La productivité annuelle (PA)	93
3.21. La feuille de bilan annuel	94

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1. Introduction	96
4.2. Modèle de calcul et hypothèses	97
4.2.1. Description du système utilisé	97

4.3. La fraction d'insolation	100
4.3.1. Représentation graphique de fraction d'insolation dans la région d'Adrar	101
4.3.2. L'énergie solaire quotidienne accumulée par le capteur solaire	101
4.3.3. Energie solaire maximale accumulée par le capteur solaire plan	103
4.4. Moyennes mensuelles des températures extérieures (DEG °C)	104
4.5. Effet des paramètres géométriques sur le PSD	105
4.5.1. Effet de l'épaisseur de la dalle	106
4.5.1.1. Evolution du rendement mensuel	107
4.5.1.2. Evolution de la température du plancher	108
4.6. Influence de l'épaisseur sur le comportement thermique de la dalle chauffante	111
4.6.1. Effet de l'épaisseur sur l'amplitude et le déphasage de la dalle chauffante	112
4.7. Effet d'écartement des tubes	115
4.7.1. Evolution de rendement mensuel	116
4.7.2. Evolution de la température du plancher	117
4.8. Effet du diamètre des tubes	119
4.8.1. Evolution de rendement mensuel	119
4.8.2. Evolution de température du plancher	120
4.9. Effet de ratio du capteur solaire	122
4.9.1. Evolution de rendement mensuel	122
4.9.2. Evolution de la température du plancher	123
4.10. Effet de la résistance thermique du revêtement de sol	125
4.10.1. Evolution du rendement mensuel	125
4.10.2. Evolution de la température du plancher	127
4.11. Effet de la résistance thermique de l'isolation de la dalle chauffante	129
4.11.1. Evolution de rendement mensuel	129
4.11.2. Evolution de la température du plancher	130
4.12. Effet de la conductivité thermique du béton	132
4.12.1. Evolution du rendement mensuel	133
4.12.2. Evolution de la température du plancher	134
4.13. Application pratique	136
4.13.1. Données techniques de l'habitat	136
4.13.2. Dimensionnement des paramètres constructifs du PSD	137
4.13.3. Choix des paramètres thermiques du PSD	138
4.13.4. Calcul du bilan thermique du PSD	138
4.14. Eléments de réalisation d'un bond d'essai de PSD	141
4.14.1. Dimensions de la dalle chauffante	141
4.14.2. Dimensionnement du capteur solaire	143
4.14.3. Le circulateur ou la pompe	144
4.14.4. Le régulateur différentiel	144
Conclusion générale	147
References	150
Annexe A	153

Nomenclatures

a	: L'amplitude de la dalle épaisse.	<i>en (%)</i>
A	: La surface d'entrée du capteur.	<i>en (m²)</i>
a_1	: Coefficient de déperditions thermiques par conduction.	<i>en (W/m².K)</i>
a_2	: Coefficient de déperditions thermiques par convection.	<i>en (W/m².K²)</i>
B	: Facteur optique du capteur.	
BV	: Les besoins moyens journaliers du chauffage.	<i>en (KWh / j)</i>
C_p	: La capacité thermique massique.	<i>en (J/kg. K)</i>
D_{tubes}	: Le diamètre des tubes du plancher.	<i>en (mm)</i>
e	: Le coefficient énergétique.	
ECO_A	: L'économie annuelle.	<i>en (KWh / an)</i>
e_{Dalle}	: L'épaisseur de la dalle épaisse.	<i>en (cm)</i>
E_{MAX}	: L'énergie solaire maximale cumulée par le capteur durant toute la journée	<i>en (KWh/m².j)</i>
E_R	: l'énergie solaire reçue par un mètre carré du capteur par jour.	<i>en (KWh/m².j)</i>
Et	: l'équation du temps.	<i>en (minute)</i>
E_{total}	: L'énergie totale au la productivité total mensuelle.	<i>en (KWh/mois)</i>
E_U	: L'énergie utile journalière.	<i>en (kWh/m².j)</i>
E_{Uf}	: L'énergie utile fictive.	<i>en (kWh/m².j)</i>
F_D	: Le facteur correctif de diamètre des tubes du plancher.	
$F_{épaisseur}$: Le facteur correctif de l'épaisseur de la dalle épaisse.	
F_{ij}	: Le facteur de forme entre les surfaces i et j .	
F_p	: Le facteur correctif de l'écartement des tubes du plancher.	
$F_{Pré-dalle}$: Le facteur correctif de pré-dalle de la dalle épaisse.	
F_t	: Le facteur correctif global de l'installation solaire.	
$F_{R_{th-is}}$: Le facteur correctif de la résistance de l'isolation de la dalle.	
$F_{R_{th-rev}}$: Le facteur correctif de la résistance de revêtement de la dalle.	
F_{λ}	: Le facteur correctif de la conductivité du béton.	
G	: Le coefficient de déperdition du local considéré.	<i>en (W/m³. °C)</i>
h	: Coefficient d'échange par convection.	<i>en (W/m².°C)</i>
h_i	: Coefficient surfacique d'échange.	<i>en (W/m². °C)</i>
i	: Angle de l'incidence.	
I_1	: L'irradiation directe par ciel clair, pour le même intervalle horaire.	
I_d	: Le rayonnement solaire diffus.	<i>en (°)</i>
I_D	: Le rayonnement solaire direct.	
I_G	: Le rayonnement solaire global.	

I_0	: Constant solaire.	<i>en (W/m²)</i>
K	: Conductance thermique totale des pertes.	
L	: La longitude du soleil.	<i>en (°)</i>
\dot{m}	: Le débit de fluide caloporteur.	<i>en (kg/s)</i>
M_V	: La masse volumique.	<i>en (Kg / m³)</i>
\vec{n}	: Vecteur unitaire porté par la normale de la surface.	
N	: Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1 ^{ère} janvier.	
\vec{N}	: Vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.	
N_j	: Le nombre entier des jours du mois considéré.	
N_u	: Le nombre de Nusselt.	
P	: la productivité journalière du plancher par un mètre carré du capteur.	<i>en (KWh/j)</i>
PA	: La productivité annuelle.	<i>en (KWh / m² .an)</i>
P_r	: Le nombre de Prandtl.	
P_U	: La puissance utile du capteur solaire.	<i>en (W/m²)</i>
Q_a	: La puissance solaire absorbée.	
Q_{AR}	: Les pertes par les faces arrière.	
Q_{AV}	: Les pertes par les faces avant.	
Q_{ij}	: Le flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces i et j .	
q^m	: La densité volumique du flux développé dans l'échantillon.	<i>en (W/m³)</i>
Q_P	: La puissance correspondant aux pertes thermiques.	
Q_U	: La puissance cédée au fluide caloporteur.	
R_0	: Le ratio du capteur	
R_e	: Le nombre de Reynolds.	
R_f	: Le ratio du capteur solaire fictif.	
R_{th_is}	: La résistance thermique de l'isolation.	<i>en (m². °C/W)</i>
R_{th_rev}	: La résistance du revêtement du sol.	<i>en (m². °C/W)</i>
S	: La surface.	<i>en (m²)</i>
S_0	: La durée maximale d'insolation.	<i>en (heures)</i>
$S_{Capteur}$: La surface de capteur solaire plan.	<i>en (m²)</i>
S_f	: La surface équivalente fictive de capteur solaire noir plan.	<i>en (m²)</i>
$S_{Plancher}$: La surface du plancher chauffant.	<i>en (m²)</i>
T^*	: la température réduite de capteur solaire.	<i>en (k.m². W⁻¹)</i>
T_a	: Température ambiante moyenne.	<i>en (°C)</i>
$T_{Ambiante}$: La température intérieure au consigne pour le local.	<i>en (°C)</i>
$Taux_{C.M.A}$: Le taux de couverture moyen annuelle.	<i>en (%)</i>
$Taux_{C.M.M}$: Le taux de couverture moyen mensuel.	<i>en (%)</i>
$T_{entrée}$: La température d'entrée du capteur.	<i>en (°C)</i>

TL	: Le temps légal.	<i>en (heures)</i>
T_m	: Température moyenne de l'absorbeur.	<i>en (°C)</i>
T_{MAX}	: La température superficielle maximale du plancher.	<i>en (°C)</i>
T_{MIN}	: La température superficielle minimale du plancher.	<i>en (°C)</i>
T_S	: La température de la surface.	<i>en (K°)</i>
TSM	: Le temps solaire moyen.	<i>en (heures)</i>
T_{sortie}	: La température de sortie du capteur.	<i>en (°C)</i>
TSV	: Le temps solaire vrai.	<i>en (heures)</i>
TU	: Le temps universel.	<i>en (heures)</i>
U_{AR}	: Coefficient de déperditions thermiques par la face arrière.	<i>en (W/m². K)</i>
U_{AV}	: Coefficient de déperditions thermiques par la face avant.	<i>en (W/m². K)</i>
U_m	: Vitesse moyenne du fluide.	<i>en (m/s)</i>
V	: Le volume habitable considéré.	<i>en (m³)</i>
α	: Angle entre le méridien local et la normale.	<i>en (°)</i>
α_s	: Facteur d'absorption au absorptivité.	α_s
β	: Angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison).	<i>en (°)</i>
δ	: La déclinaison.	<i>en (°)</i>
ΔH	: le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.	<i>en (heures)</i>
ΔT	: L'écart de température entre la surface du sol et l'ambiance de la pièce.	<i>en (°C)</i>
ε	: Le coefficient d'émission.	
θ	: La température du fluide.	<i>en (K°)</i>
θ_m	: La température du fluide.	<i>en (K°)</i>
η'	: Facteur optique du capteur.	
η_0	: Coefficient de conversion optique.	<i>en (%)</i>
η_P	: le rendement mensuel du plancher solaire direct exprimé.	<i>en (%)</i>
λ	: La conductivité thermique du matériau.	<i>en (W/K.m)</i>
$\lambda_{béon}$: La conductivité thermique du béton	<i>en (W/m². °C)</i>
λ_m	: La longueur d'onde du maximum d'émission.	
μ	: Viscosité dynamique du fluide.	
ρ	: La masse volumique.	<i>en (kg/m³)</i>
ρ_r	: Facteur de réflexion.	
σ	: La fraction d'insolation.	
τ_S	: Facteur de transmission au transmissivité.	τ_S
φ	: Le flux de chaleur transmis par conduction.	<i>en (W)</i>
Φ	: La latitude du soleil.	<i>en (°)</i>
ω	: L'angle horaire.	<i>en (°)</i>

Les abréviations

ADEME	: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
CEN	: la Comité de la Normalisation Européenne.
CIMO	: Commission des Instruments et des Méthodes d'Observation.
CSHP	: Central Solaire Heating Plants.
DTU	: La norme française s'applique aux planchers chauffants.
ECS	: L'Eau chaud Sanitaire.
EN	: La Norme Européenne.
E.S.I.M	: l'Ecole Supérieure des Ingénieurs de Marseille.
GMT	: Greenwich Mean Time.
IR	: InfraRouges.
ISO	: La normalisation internationale.
ISS	: Station Spatial International.
NF	: La Norme Française.
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale.
PER	: Polyéthylène réticulé
P.S.D	: Plancher Solaire Direct: Système de chauffage solaire.
PVD	: Pays en Voie de Développement.
SSC	: Système Solaire Combiné.
TL	: Temps Légal.
TSV	: Temps Solaire Vrai.
TSM	: Temps Solaire Moyen.
TU	: Temps Universal.
UA	: Unité Astronomique.
UV	: Type des rayonnements solaire : Ultra-Violet.

Liste des figures

- Fig.1.1 : L'utilisation directe de l'énergie solaire [1].
Fig.1.2 : La sphère céleste [3].
Fig.1.3 : Coordonnées géographiques [3].
Fig.1.4 : Coordonnées horaires.
Fig.1.5 : Coordonnées horizontales [3].
Fig.1.6 : Répartition du rayonnement solaire dans le capteur [4].
Fig.1.7 : Direction du rayonnement solaire [3].
Fig.1.8 : Ecoulement laminaire d'un fluide entre deux plaques.
Fig.1.9 : Ecoulement turbulent d'un fluide entre deux plaques.
Fig.1.10 : Les abaques de détermination de facteur de forme dans différentes positions des surfaces [6].
- Fig.2.1 : L'échange thermique dans un capteur solaire plan vitré [8].
Fig.2.2 : Détails d'une coupe d'un capteur solaire plan [8].
Fig.2.3 : Coupe d'un capteur solaire TUBE SOUS VIDE.
Fig.2.4 : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite pour plusieurs types de capteurs [8].
Fig.2.5 : Rendement global d'un capteur solaire [8].
Fig.2.6 : Courbe de rendement de trois types des capteurs solaires en fonction de la température réduite [9].
Fig.2.7 : Les courbes représentatives du seuil de démarrage des capteurs solaires [9].
Fig.2.8 : Les courbes représentatives de la température de la stagnation des capteurs en fonction de l'irradiation incidente sur le plan du capteur [9].
Fig.2.9 : L'angle d'inclinaison β que fait le capteur par rapport à l'horizontale.
Fig.2.10 : L'angle azimutal que fait le plan du capteur par rapport au sud [10].
Fig.2.11 : Les types d'échangeurs de chaleur utilisés en stockage.
Fig.2.12 : Les capteurs solaires plans intégrés au toit (*Source : Asder*).
Fig.2.13 : Constitution du capteur plan vitré [12].
Fig.2.14 : La partition des rayonnements solaires incidents sur un plan [9].
Fig.2.15 : Domaine de rayonnements d'un corps chauffé en fonction de sa température.
Fig.2.16 : La variation du transmissivité en fonction de la longueur d'onde.
Fig.2.17 : Système solaire combiné (SSC) [14].
Fig.2.18 : Système d'énergie solaire à eau à boucle fermée [11].
Fig.2.19 : Système de chauffage solaire à air avec stockage à lit de pierre [11].
Fig.2.20 : Plancher chauffant et tuyaux dans lesquels circule le liquide caloporteur [23].
Fig.2.21 : Schéma d'un Plancher Solaire Direct avec production d'eau chaude sanitaire [24].
Fig.2.22 : Schéma typique d'une installation de PSD à appoint intégré [23].

- Fig.3.1 : Dalle de plancher solaire direct sans pré-dalle [25].
- Fig.3.2 : Dalle de plancher solaire direct avec pré-dalle [27].
- Fig.3.3 : Une dalle épaisse avec des tubes posés sur un pré-dalle de 8cm.
- Fig.3.4 : Une dalle épaisse couplée directement avec un capteur solaire plan [29].
- Fig.3.5 : Capteurs solaires noirs plans [4].
-
- Fig.4.1. : Schéma descriptif du problème étudié.
- Fig.4.2. : Unité d'émission de chaleur [25].
- Fig.4.3. : La variation de la fraction d'insolation mensuelle durant toute l'année dans la région d'Adrar.
- Fig.4.4 : L'évolution de l'énergie solaire reçue accumulée durant toute l'année pour différentes inclinaisons du capteur.
- Fig.4.5 : La variation de la température moyenne mensuel extérieur durant toute l'année dans la région d'Adrar.
- Fig.4.6 : Evolution du rendement mensuel en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour une épaisseur de la dalle de : (a) 12cm, (b) 30cm et (c) 40cm.
- Fig.4.7. : Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour une épaisseur de la dalle de : (a)12cm, (b) 30cm et (c) 40cm.
- Fig.4.8. : Représentation de comportement thermique d'une dalle épaisse de 20cm d'épaisseur en fonction du temps solaire vrai T.S.V [26].
- Fig.4.9. : Représentation du comportement thermique d'une dalle épaisse de 40cm d'épaisseur en fonction du temps solaire vrai T.S.V [26].
- Fig.4.10 : L'évolution du déphasage de la dalle en fonction de l'épaisseur.
- Fig.4.11 : La variation de l'amplitude de la dalle en fonction de l'épaisseur.
- Fig.4.12. : Evolution du rendement mensuel en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour un écartement des tubes de : (a) 15cm, (b) 20cm et (c) 30cm.
- Fig.4.13. : Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction des inclinaisons du capteur pour un écartement des tubes de : (a) 15cm, (b) 20cm et (c) 30cm.
- Fig.4.14. : Evolution du rendement mensuel en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour : (a) $D_{\text{tube}} = 15\text{mm}$, (b) $D_{\text{tube}} = 20\text{mm}$, (c) $D_{\text{tube}} = 30\text{mm}$.
- Fig.4.15. : Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour D_{tube} égal à : (a) 15, (b) 20, et (c) 30mm.
- Fig.4.16. : Evolution du rendement mensuel en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour un ratio du capteur de : (a) 0.1, (b) 0.3 et (c) 0.5.
- Fig.4.17. : Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour un ratio du capteur de : (a)0.1, (b) 0.3, et (c) 0.5.
- Fig.4.18. : Evolution du rendement mensuel en fonction des inclinaisons du capteur solaire plan pour différents valeurs de $R_{\text{th_rev}}$ en ($\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$): (a) 0.005, (b) 0.080 et (c) 0.15.
- Fig.4.19. : Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire pour différents valeurs de $R_{\text{th_rev}}$ en ($\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$) : (a) 0.005, (b) 0.080 et (c) 0.15.
- Fig.4.20. : Evolution du rendement mensuel de installation PSD en fonction des inclinaisons du capteur solaire plan pour différentes valeurs de $R_{\text{th_is}}$: (a)

- 0.5, (b) 1 et (c) 1.5 en ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$).
- Fig.4.21 : Evolution de la température superficielle maximale du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire plan pour différentes valeurs de R_{th_is} : (a) 0.5, (b) 1 et (c) 1.5 en ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)
- Fig.4.22 : Evolution du rendement mensuel de l'installation PSD en fonction des inclinaisons du capteur solaire plan pour $\lambda_{béton}$ =: (a) 1.4, (b) 1.75, et (c) 2 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- Fig.4.23. : Evolution de la température superficielle maximale du plancher en fonction des inclinaisons du capteur solaire plan $\lambda_{béton}$ =: (a) 1.4, (b) 1.75, et (c) 2 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- Fig.4.24. : Le plan de façade principale de la maison individuelle.
- Fig.4.25. : Le plan de construction de la maison individuelle.
- Fig.4.26. : La grille de chauffage de la dalle chauffante.
- Fig.4.27. : La dalle chauffante.
- Fig.4.28. : La plaque à plots ou plaque plane d'isolation de la dalle chauffante.
- Fig.4.29. : Capteur solaire noir plan.
- Fig.4.30. : Les types des circulateurs (les pompes) utilisés dans l'installation PSD.
- Fig.4.31. : Le fonctionnement du régulateur différentiel dans l'installation PSD.
- Fig.4.38. : L'assemblage des éléments de l'installation PSD.

Liste des tableaux

Tableau 1.1	: Caractéristiques du soleil [2].
Tableau 1.2	: Coefficients de trouble du ciel [3].
Tableau 1.3	: Albédo typique de différents types de surfaces [3].
Tableau 2.1	: Propriétés de quelques couches sélectives [11].
Tableau 3.1	: Résistances thermiques des différents matériaux en revêtement de sol [25].
Tableau 3.2	: Tableau de propriétés thermiques du capteur solaire noir plan [26].
Tableau 3.3	: Feuille du bilan thermique annuel de l'installation solaire.
Tableau 4.1	: Données en pourcentage de fraction solaire de 37 stations [33].
Tableau 4.2	: Les fractions solaires moyennes mensuelles de la région d'Adrar [33].
Tableau 4.3	: L'énergie solaire moyenne quotidienne maximale [33].
Tableau 4.4	: L'énergie solaire reçue par le capteur durant toute la journée en fonction de l'inclinaison du capteur.
Tableau 4.5	: Les températures moyennes mensuelles et annuelles de la région d'Adrar [34].
Tableau 4.6	: Les principaux résultats de la simulation de l'effet de l'épaisseur de la dalle sur le bilan thermique du PSD.
Tableau 4.7	: Energie utile journalière pour une dalle de 40cm d'épaisseur.
Tableau 4.8	: Energie solaire fictive reçue par un mètre carré de capteur (E_{RF}).
Tableau 4.9	: Le temps l'égal à midi T.S.V (<i>Temps Solaire Vrai</i>) [33].
Tableau 4.10.	: Variation du déphasage et du décalage en fonction de l'épaisseur de la dalle épaisse.
Tableau 4.11	: Les principaux résultats obtenus pour l'effet de l'écartement des tubes sur le bilan thermique du PSD en fonction de l'inclinaison du capteur solaire plan.
Tableau 4.12	: Les principaux résultats obtenus pour l'effet du diamètre des tubes sur le bilan thermique du PSD en fonction de l'inclinaison du capteur solaire plan.
Tableau 4.13	: Les principaux résultats de l'étude de l'effet du ratio du capteur sur le bilan thermique du PSD en fonction de l'inclinaison du capteur solaire plan.
Tableau 4.14.	: Les principaux résultats de l'analyse de l'effet de la résistance thermique du revêtement du sol sur le bilan thermique de PSD en fonction de l'inclinaison du capteur solaire plan.
Tableau 4.15.	: Les principaux résultats de l'analyse de l'effet de la résistance thermique de l'isolation de la dalle sur le bilan thermique de PSD.
Tableau 4.16.	: Les principaux résultats de l'analyse de l'effet de la conductivité thermique du béton sur le bilan thermique du PSD en fonction de l'inclinaison du capteur solaire plan.
Tableau4.17.	Les énergies solaires du PSD pour la maison considérée.
Tableau4.18.	Les rendements mensuels et les températures du PSD.
Tableau 4.19.	La feuille du bilan thermique annuel de l'installation solaire : Dalle épaisse sans pré-dalle reliée avec un capteur solaire noir plan.
Tableau4.20.	Les propriétés physico-thermiques de la dalle chauffante.
Tableau 4.21.	Propriétés thermiques du capteur solaire noir plan.