

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE D'ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT SCIENCES DE LA MATIERE



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme  
de Master en physique Energétique**

**Thème**

**Analyse de Paramètre de Fonctionnement  
d'un Plancher Solaire Direct (PSD)**

**Présenté Par :**

M<sup>elle</sup> . Kaddouri Rokia.

M<sup>elle</sup> .Hammou abdou kelthoum.

<b>Mr . Manaa . s</b>	M.C.A	Université Ahmed Draia-Adrar
<b>Mr. Oudrane Abdellatif</b>	M.C.B	Université Ahmed Draia-Adrar
<b>Mr. Mzdiani . A</b>	E.C.B	UERMS-Adrar

**Année Universitaire:2020/2021.**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR  
BIBLIOTHÈQUE CENTRALE  
Service de recherche bibliographique  
N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار  
المكتبة المركزية  
مصلحة البحث البليوغرافي  
الرقم.....م.م/ب.ب.ب/ج.أ/2021

## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): أودرن عبد اللطيف Oudrane Abdellatif

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ : Analyse de Paramètre de Fonctionnement d'un Plancher Solaire Direct (PSD).....

من إنجاز الطالب(ة): Kaddouri Rokia

و الطالب(ة): Hammou abdou kelthoum

كلية : كلية العلوم والتكنولوجيا (ST) Faculté des Sciences et de la Technologie

القسم : علوم المادة (SM) Département Science de la Matière

التخصص : فيزياء طاقوية Physique Energétique et Energies Renouvelables

تاريخ تقييم / مناقشة: 22-06-2021

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
ويماكنهم لإيداع النسخ الورقية (02) والأليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

17 أكتوبر 2021

قسم علوم ادرار في  
مساعد رئيس القسم:

و. بلعالي  
مساعد رئيس قسم علوم المادة مكلف بما بعد  
التدرج والبحث العلمي بكلية العلوم والتكنولوجيا

Dr . OUDRANE Abdellatif  
Maitre de Conférences des Universités (HDR)  
Faculté des Sciences et Technologie (ST)  
Université Ahmed Draïa d'ADRAR (Algérie)

22/06/2021

ملاحظة: لا تقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.





## DEDICACE

Je dédie la fruit de mon travail aux personnes les plus proches de mon cœur,

Ma chère maman « Ramdana » que Dieu lui donne longue vie.

Mon cher père « Ambarke » que Dieu lui fasse miséricorde, et que Dieu lui fasse miséricorde.

A mes sœurs Hanna, Khadîdja, Hanan, Zahia.

A mes frères Boudjama, Abdelkader et à mon petit frère Hamdja.

Aux petits poussins Salwa, Amin, l'atikaf, Rayann, Souhaib, Ikram et Tasnim.

A mon partenaire de vie Abdelhak.

A ma grand-mère, qui Dieu lui donne longue vie.

A mes oncles et tantes.

A chaque famille « Kaddouri, Salmi et Hamoulili ».

A mon collègue « Kalthoum ».

## ROKIA



## DEDICACE

Je trace une ligne de lignes de lumière, je n'écris pas de lignes au Dieu Tout-Puissant, qui a déversé de mes côtés une bénédiction d'en haut.

A qui ma langue a dit son nom... A qui il m'a comblé d'amour et de tendresse... Pour qui est heureux de ma joie et triste de ma tristesse. Ma chère mère et père bien-aimé, que Dieu lui fasse miséricorde.

A mes personnes les plus chères et les plus chères à mon cœur, mes sœurs RABIA,ZOHRA,AMBARKA, HASSEN, Youssef, ABDE EL

KARIME

Surtout à la lumière de la petite famille BILAL,DJAWADE.

A ceux qui m'ont appris le sens de l'amitié, à ceux qui m'ont accompagné tout au long de ce voyage, mes amis Khadidja,Naziha,Zinabe, zohra,Mariem, Mabroka ,Halima , Malika.

**KELTHOUM**



## Remerciements

Premièrement, nous remercions Dieu Tout- puissant de nous avoir donné la force et la capacité de terminer ce travail.

Deuxièmement, nous remercions encadreur

### **OUDRANE Abdellatif.**

Nous remercions également l'assistants « Hammou » Co-encadreur.

Nous remercions toute l'équipe de notre promotion dans la spécialité physique énergétique pour leurs esprits de famille durant le cycle d'étude.

Nous remercions également les professeurs d'encadrement pour toutes les connaissances qu'ils ont pu nous transmettre au cours de ces années.

On ne peut s'empêcher de penser à ceux qui ont répondu et nous ont apporté leur soutien moral dans le moment difficile et qui ont été à nos côtés pour partager nos moments de joie.



# Table des matières

---

Introduction générale.....	1
Référence.....	3

## Chapitre N 1

### Etat de l'art (plancher solaire direct)

1-Introduction.....	5
2- synthés.....	5
3-Histoire de système PSD.....	<b>11</b>
4-Fonctionnement de système PSD .....	13
5-référence.....	14

## Chapitre N 2

### Formulation mathématique du système PSD

1-Introduction .....	18.
2-Les composants de ce système plancher solaire direct (PSD).....	18
3-Tubes usagés dans plancher solaire direct .....	19
3-1-Tubes en cuivre.....	19
3-1-1-Caractéristiques d'un tube en cuivre.....	19
3-1-2-Utilisation d'un tube en cuivre .....	19
3-2-Tube en PER.....	20
3-2-1-Caractéristiques d'un tube en PER.....	20.
3-2-2 -Utilisation d'un tube en PER.....	21
3-3-Tube en multicouche.....	22
3-3-1-Caractéristiques d'un tube multicouche.....	22.
3-3-2 Utilisation d'un tube multicouche.....	22
3-4-Tubes en PVC.....	23
4-Type de dalle.....	23
4-1-Les dalle en bois.....	23
4-2-Les dalles en pierre naturelles.....	24
4-3-Les dalles en pierre reconstituée ou en béton.....	25
5-Méthodes de fonctionnement du système plancher solaire direct.....	26
5-1-Description de la méthode Volume Finie "M .V.F".....	26
6-Température ambiante du local.....	26

# Table des matières

---

7-Température superficielle du planche.....	26
8-Température du fluide chauffant.....	26
9-Formulation mathématique des transferts thermique dans le système PSD.....	27
9-1-Expression des flux d'énergie.....	27
9-1-1-Conduction.....	27
9-1-1-1-Echange par conduction L'échange entre de béton et tube.....	28
9-1-2-Convection.....	28
9-1-2-1-Echange par convection L'échange entre le fluide caloporteur e Béton.....	29
9-1-2-2-L'échange entre le béton et l'air.....	29.
10-Calcul analytique du rendement mensuel du plancher.....	29
11-Calcul de l'énergie journalière reçue par le capteur.....	30
12- Calcul des températures superficielles du plancher.....	30
13- référence.....	31

## Chapitre N 03

méthodologie numérique et rédaction d'un communication et rédaction du mémoire.

1- Introduction .....	33
2- Propriétés thermique de l'eau.....	33
3- Propriétés thermique de béton.....	33
4- Conduction aux limité.....	33
5- L'évaultion de la température dans la tube.....	34
6- l'évolution de la température dans la dalle.....	35
6-1 l'évolution de température dans la delle en le primaire .....	36
6-2 l'évolution de température dans la delle en le médian.....	37
6-3 l'évolution de température dans la delle en le dernier.....	38
7-Référence .....	39
Conclusion général .....	41



# Liste des figures

Fig. 1.1 schéma descriptif du problème étudié .....	14
Fig.2.1. tube en cuivre .....	20
Fig.2.2. tube en PER .....	22
Fig. 2.3. Tubes en PVC .....	23
Fig. 2.4. : Les dalles en bois .....	24
Fig.2.5. Les dalles en pierre naturelle .....	24
Fig. 2.6. Les dalles en pierre reconstituée ou en béton .....	25
Figure 3.1:Pression de l'eau.....	34
Figure 3.2:Rationaliser de l'eau.....	35
Figure 3.3: l'évolution de température dans la dalle .....	35
Figure 3.4: le contour de la Température .....	36
Figure 3.4: l'évolution de température dans la dalle en le premier en fonction de temps .....	37
Figure 3.5: l'évolution de température dans la dalle en le médian en fonction de temps.....	37
Figure .3.6: l'évolution de température dans la dalle en le dernier en fonction de temps.....	38.

# Liste des tableaux

Tableau .01: Propriétés thermique de l'eau.....	33
Tableau .02: Propriétés thermique de béton.....	33

# **Introduction générale**

## Introduction générale:

La maîtrise de la consommation d'énergie ne cesse d'être la préoccupation majeure dans tous les domaines de la recherche. L'amenuisement des ressources fossiles, leur effet sur l'environnement, et leur surcoût de plus en plus croissant en matière d'exploitation, fait que la recherche sur l'utilisation des énergies renouvelables soit en plein essor. Le bâtiment, lieu de travail[1], de production et d'habitation, consomme à lui seul jusqu'à 40% de l'énergie totale consommée dans le monde. Malgré les efforts apportés sur la technique d'isolation thermique dans le bâtiment, il en demeure que la consommation d'énergie pour le conditionnement d'air reste importante et ne cesse de marquer son implication dans la production des gaz à effet de serre.

Pour cela, l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment, par une isolation renforcée et un meilleur traitement des ponts thermiques qui introduit une diminution des besoins thermiques en climatisation et en chauffage doit être envisagée. En outre la recherche doit porter sur des systèmes de chauffage du bâtiment performants afin de maîtriser les ambiances habitables à un moindre coût énergétique. En effet le maintien de l'ambiance est confié au système de chauffage dont la qualité dépend fortement de la conception, du dimensionnement et de la mise en oeuvre de l'installation. Il fait partie des systèmes à basse température dont l'utilisation permet de réduire la consommation énergétique. Le schéma pompe à chaleur-plancher chauffant ou encore capteur solaire thermique-plancher chauffant se fait de plus en plus[2].

le PSD permet une plus grande diffusion de l'énergie solaire thermique dans le sol, assurant ainsi un environnement thermique acceptable. Son principe est de faire circuler directement dans un réseau de tubes noyés dans le plancher un fluide chauffé par des capteurs sans utiliser de cuves de stockage intermédiaires. Le système ainsi obtenu présente de nombreux avantages par rapport aux systèmes classiques de chauffage solaire sur les plans des coûts, de l'encombrement et de la fiabilité[3].

La présente mémoire est structurée en trois grands chapitres en plus d'une conclusion générale et perspective.

Le premier chapitre est consacré pour présenter une synthèse biographique sur le dernier chercheur qui a mené ses recherches sur le système plancher solaire direct PSD et les résultats qu'il a obtenus sur le système.

Dans le second chapitre est dédié le développement de la base théorique de la modélisation du système plancher solaire direct PSD à usage individuel et l'équation mathématique du fonctionnement de ce système. En effet, la modélisation des différents échangeurs thermiques au sein du habitat est bien détaillée dans ce chapitre.

Le troisième chapitre est réservé à l'étude numérique du système plancher solaire direct PSD et à l'interprétation des résultats obtenus par le programme pour l'évaluation du confort thermique et la validation des modèles utilisés.

Enfin, une conclusion générale sur les résultats obtenus avec des perspectives sur les travaux à proposer pour l'avenir.

## Références :

- [1] M. Benzaama, "étude du confort thermique dans l'habitat par des procedesgeo-Helithermique ".thèse de docteur de l'université de Reims champagne -Adeene Université des Sciences et Technologie, Oran 2017
  
- [2] A. Dalila ,Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un Plancher solaire dierct, Spécialité: Energies Renouvelables, Université Constantine 1, 2013.
  
- [3] L. Mohammed Cherif ,Modélisation du comportement thermique bâtiment Equipé de système combiene ,capteure solaire et puits condien, thèse de doctort Université de Sidi Bel Abbés, Spécialité : Energétique et Environnement

**chapitre N°01:**

**Etat de l'art**

**(Plancher solaire direct)**

## 1.Introduction

L'utilisation des énergies renouvelables suscite de plus en plus un intérêt certain dans le monde. La diminution des réserves mondiales en pétrole et en gaz, les problèmes environnementaux ont amené beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables et propres, telles que l'énergie solaire. Cette énergie est l'une des plus facilement exploitables pour le produit de chauffage. [4]

Dans cet chapitre, nous mentionnerons certains chercheurs qui ont mené leurs recherches sur le système plancher solaire direct (PSD) terrestre directement dans un passé récent, ainsi que les résultats qu'ils ont obtenus sur ce système.

## 2.synthés

Menhoudj et al[5] a étudié dans sa recherche Le chauffage par le plancher est une technique qui procure de bonnes conditions de confort tout en minimisant les consommations énergétiques. La possibilité d'utilisation de cette technique en Algérie s'inscrit dans le contexte actuel de maîtrise de l'énergie, d'utilisation des énergies renouvelables et de développement durable. Ce travail a porté sur l'étude expérimentale d'un système solaire actif - PSD, technique qui a été utilisé pour le chauffage du local d'une cellule solaire implantée à Oran. Un système de mesure (métrologie) a été mis en place pour étudier les performances énergétiques du plancher solaire direct (PSD) pendant une période où les besoins en chauffage sont exprimés (du mois de novembre 2007 au mois de mars 2008). Les résultats expérimentaux obtenus ont permis d'évaluer l'économie apportée par le PSD en matière de besoins de chauffage (taux de couverture solaire) et d'énergie d'appoint nécessaire. Une étude comparative a été faite en utilisant les résultats de simulation numérique.

Oudrane et al [6] à abordé L'objectif de ce présent travail est la détermination de l'épaisseur optimale de la dalle chauffante pour l'obtention d'une bonne efficacité thermique de l'installation plancher solaire direct (PSD) avec une température superficielle du plancher confortable. Pour atteindre cet objectif nous avons élaboré un logiciel du calcul pour bien dimensionner et optimiser les paramètres géométriques et thermiques de l'installation PSD, afin de simplifier le calcul. Ce logiciel est basé sur la méthode du calcul des planchers solaires



directs E.S.I.M. De plus a été écrit en langage FORTRAN avec une inter face graphique en DELPHI pour faciliter l'introduction des données initiale de l'installation PSD que nous volons optimisé. L'étude est basée 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 de béton et d'un capteur solaire plan à eau. La variation des différents paramètres (énergie solaire reçue et la température ambiante extérieure, ainsi que l'épaisseur de la dalle) influençant l'efficacité d'un tel système (température superficiel et rendement thermique) a été présentée graphiquement et discutée. Les résultats théoriques obtenus, nous ont permis de définir l'épaisseur de la dalle chauffante et l'angle des capteurs solaires optimales.

Benzaam et al [7]à travail, porte sur l'étude de l'efficacité énergétique d'un système solaire actif (PSD) couplé à une cellule expérimentale implantée dans la région d'Oran (Algérie). Le système est composé d'un capteur solaire plan, un circuit hydraulique en deux boucles noyé dans la dalle, et d'un module de transfert hydraulique. La métrologie mise en place a permis de suivre l'évolution de la température à plusieurs niveaux du système ( $T^\circ$  du capteur solaire,  $T^\circ$  dalle,  $T^\circ$  de l'air intérieur et extérieur). Les mesures in situ réalisées ont été effectuées durant une période de 08 jours à partir du 18 mars 2014. Sur l'environnement TRNSYS.16, nous avons établis un modèle d'un plancher solaire direct où les résultats ont fait l'objet de validation avec ceux obtenus par l'expérience.

Oudrane et al [8] dans sa recherché à travailler sur l'objectif principal de ce travail est la détermination de l'épaisseur optimale de la dalle chauffante en béton afin d'obtenir un rendement mensuel maximal de l'installation à plancher solaire direct (PSD).pour atteindre cet objectif, un programme de simulation numérique a été développé pour faciliter le dimensionnement et la simulation des paramètres géométriques et thermique du PSD. l'étude a été menée en se basant sur des données climatiques de la région d'Adrar en utilisant un système composé d'un dalle épaisse et d'un capteur solaire plan. l'effet des différents paramètres, à savoir, l'énergie solaire reçue et la température ambiante extérieure sur l'efficacité thermique d'un tel système a été illustré graphiquement et discutée. Les résultats obtenus, nous ont permis de déduire l'épaisseur de la dalle chauffante et la surface nécessaire des capteurs solaires optimales.

Mohammed et al [9] travailler sur Ce travail s'inscrit dans le cadre de la recherche des solutions d'économie d'énergie du bâtiment tout en utilisant des sources naturelles et renouvelables (Energie

solaire pour le chauffage et la géothermie pour le rafraîchissement). Il est nul besoin de rappeler que l'Algérie dispose d'un potentiel énergétique héliogéothermique important.

Dans ce travail de thèse on s'intéresse particulièrement à l'étude du confort thermique (hiver et été) dans un habitat équipé par un plancher hydraulique réversible.

Pour mener à bien cette étude, nous disposons d'un gisement solaire important d'une part et d'autre part d'un dispositif expérimental à échelle réelle. Une pièce munie d'un plancher hydraulique réversible (chauffant ou rafraichissant) est instrumentée. Une citerne de stockage enfouie à quelques mètres de la surface du sol afin de bénéficier du rafraichissement géothermique. Plusieurs sondes de mesures reliées à une station d'acquisition qui est reliée à un ordinateur permettent le suivi des évolutions de températures. La modélisation de la structure de l'enveloppe de la cellule et l'évolution de la température de l'air intérieur et celle des parois sont réalisées sous le logiciel TRNSYS. A l'aide des résultats obtenus par TRNSYS, le logiciel FLUENT nous permet de modéliser la tache solaire et son influence sur le plancher chauffant sous les conditions climatiques de la ville d'Oran.

LEKHAL et al [10] à menu son travail sur Avec 45% de la consommation énergétique mondiale et une émission de CO<sub>2</sub> avoisinant les 36,2 billions de tonnes, le secteur du bâtiment constitue encore aujourd'hui un gisement important d'économie d'énergie et de réduction de gaz à effet de serre. De ce fait, une réelle et pressante volonté de réduire les dépenses énergétiques et d'améliorer les conditions environnementales s'avère nécessaire. Ce travail a pour objectif de modéliser un bâtiment équipé d'un système combiné afin d'examiner sa performance thermique du point de vue des besoins énergétiques et du confort thermique. Le système combiné est constitué d'un plancher solaire direct (PSD), d'un échangeur de chaleur air-sol (ECAS) et d'un dispositif de ventilation afin d'assurer le refroidissement gratuit (free cooling). Pour assurer une meilleure complémentarité ainsi qu'une bonne synergie entre les systèmes mentionnés ci-dessus lors de leur fonctionnement, une stratégie de contrôle a été adoptée, à la fois pour le chauffage et le refroidissement.

Sur le plan expérimental, une cellule d'essai à échelle réelle équipée d'un PSD et d'un ECAS a été utilisée. Cette cellule sert à valider les résultats de test avec ceux issus du modèle numérique ; Le modèle numérique a été étendu à l'échelle d'un bâtiment résidentiel afin d'étudier la performance pour plusieurs configurations des systèmes intégrés (PSD, ECAS et free cooling) et leur stratégie de contrôle et d'analyser l'impact de chaque système sur la réduction des besoins énergétiques annuels de ce bâtiment et l'augmentation de taux de

confort thermique. Ceci a permis d'évaluer individuellement la contribution de chaque système ainsi qu'à examiner la stratégie de contrôle adoptée pour le système combiné intégré dans le bâtiment. Les résultats de l'étude montrent que la combinaison des systèmes avec la stratégie de contrôle adoptée réduit respectivement de 70% et 66% l'énergie nécessaire pour chauffer et refroidir le bâtiment, ce qui représente une réduction annuelle totale de 68%. De plus, le système a pu augmenter le taux de confort thermique à 84% des heures de confort au cours de l'année. Ce pourcentage est en accord avec les taux recommandés par la norme ASHRAE pour le confort thermique.

Menhoudj et al [11] à abordé dans leurs travaux Ce travail s'inscrit dans le cadre de la recherche des solutions d'économie d'énergie dans le secteur du bâtiment en utilisant des sources renouvelables géothermiques. Dans cet Optique, le travail de cette thèse vise à étudier expérimentalement et par simulation numérique, l'efficacité énergétique de deux types de système à énergie renouvelable géothermique représentant respectivement deux conduits d'air (un en Zinc et l'autre en PVC) et deux citernes à eau, tous enterrés séparément dans le sol (Echangeur terre-air et terre-eau). La performance énergétique des systèmes est analysée après leur couplage à un local expérimental équipé d'un plancher hydraulique et implanté au campus universitaire IGCMOUSTOMB (Oran, Algérie). Le conduit d'air de longueur 20m, de diamètre  $\varnothing 100\text{mm}$  et de profondeur d'enfouissement 2m, souffle l'air à l'intérieur du local par aspiration à partir d'une cheminée de prise d'air extérieur placée en amont et munie d'un filtre à particules. Les citernes en tôle galvanisée et chacune de dimensions 2000mm x  $\varnothing 100\text{mm}$ , de capacité volumique d'eau 1000l et de hauteur d'enfouissement 2m, peuvent être branchées en série ou en parallèles pour alimentation du plancher hydraulique. Un dispositif de mesure a été mis en place pour enregistrer l'évolution de température à différents points de mesure sensibles : Température de l'air ambiant, température d'air à la sortie du conduit, température d'eau à l'entrée et à la sortie de la citerne, température superficielle du plancher hydraulique. Les résultats obtenus ont fait l'objet de validation à ceux issus de la simulation sous l'environnement Trnsys16. Une bonne concordance entre les résultats simulés et ceux issus de l'expérience est constaté. En vue d'optimiser les performances énergétiques des deux systèmes géothermiques, des simulations ont été réalisées faisant varier les paramètres influents. Les résultats obtenus sont prometteurs sur la faisabilité de ces deux systèmes énergétiques pour les besoins énergétiques des locaux implantés dans les régions du nord et du sud.

Oudrane et al [ 12]à travaille dans L'objectif principal visé par ce travail est d'étudier l'élément essentiel de stockage d'énergie pour un système de stockage d'énergie destiné pour le chauffage par le sol. Le système est une dalle chauffante composée d'une conduite de section rectangulaire disposée dans la dalle en béton de l'habitat. Nous avons modélisé les transferts de la chaleur par conduction dans la dalle en béton. Pour cette raison nous avons résolu numériquement l'équation de la chaleur qui régit cet échange thermique par conduction. Cette équation a été discrétisée par une méthode implicite aux différences finies .L'équation algébrique ainsi obtenu a été résolu par l'algorithme de Thomas. En plus, nous avons analysé l'influence des différents types des matériaux de construction, pour différentes conductivités thermiques du béton et pour différentes épaisseurs du béton sur la distribution de la température de la dalle chauffante. Les résultats obtenus montrent que l'inertie thermique du béton et le choix de du matériau de la construction ont un impact important sur la diffusion thermique dans la dalle chauffante.

Oudrane et al [13] à fait une étude Ce présent travail, port sur la modélisation et l'analyse paramétrique du confort thermique au sein d'une maison individuel localisée dans la région d'Adrar. Cette dernière est occupée par un système de plancher chauffant. Pour atteindre cet objectif, nous avons entrepris dans une première partie la modélisation des transferts thermiques de l'écoulement de l'eau chaude dans la dalle plancher. Puis, nous avons résolu numériquement les équations de Navier-Stokes et de la chaleur qui régissent cet écoulement. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Ensuite, dans une seconde partie, on a résolu l'équation de la conduction thermique dans la dalle chauffante à l'aide de la même méthodologie que pour celle de l'écoulement de fluide. Les transferts de chaleur qui se déroulent dans l'enveloppe habitable ont été pareillement modélisés en utilisant les bilans thermiques établis au niveau de chaque paroi de l'enveloppe et en tenant en compte des échanges thermiques par convection, conduction et rayonnement. Les modèles ainsi échafaudés ont été calibrés avec des données climatiques mesurées récemment au niveau de l'unité de recherche en énergie renouvelable en milieu saharien d'ADRAR "URER'MS". Un analyse numérique bien détailler de certaines paramètres influencent le confort thermique a été discutée. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude numérique ont montré que les conditions climatiques sévères de la région en question présentent une valeur ajoutée dans l'inconfort thermique. Des suggestions pour améliorer le confort thermique au niveau de cette région sont proclamées dans cette étude.

Abbazze Dalila et al [14] à fait étudié L'objectif de ce travail est la modélisation et le dimensionnement d'un système de chauffage solaire par plancher dont l'apport d'énergie est assuré par un capteur solaire. Le principe est de faire circuler directement dans une dalle de béton isolée thermiquement par le bas et dans laquelle sont encastrés des tubes, de l'eau chauffée par un capteur solaire sans cuve de stockage intermédiaire.

La stratégie consiste à décomposer le système plancher solaire direct en deux sous systèmes plus faciles à résoudre et à reconstruire ensuite le modèle global en tenant compte des couplages physiques existants entre le capteur et le plancher.

Le système est modélisé suivant la méthode nodale, basée sur les bilans thermiques de chaque élément constituant le système de chauffage (capteur, fluide caloporteur, plancher constitué d'une dalle en béton).

Le système d'équations régissant le comportement thermique du capteur solaire est résolu par la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 alors que la résolution des équations décrivant le plancher est abordée par la méthode des différences finies.

Une étude paramétrique du système étudié permis de déterminer en régime dynamique l'évolution des températures dans les différents éléments constituant le système et de définir les caractéristiques optimales de l'installation.

La confrontation de nos résultats avec ceux issus d'une étude expérimentale menée au Centre de Développement des Energies Renouvelables de Bouzaréah (CDER. Alger) montre un bon accord.

Notre travailler sur L'objectif dans ce travail porte sur la modélisation et le dimensionnement d'un système de chauffage solaire par plancher dont l'apport d'énergie est assuré par un capteur solaire.

Le principe de la technique du plancher solaire direct, est de faire circuler directement dans un plancher un fluide chauffé par des capteurs solaires sans utiliser des cuves de stockage intermédiaires.

La stratégie consistera à décomposer le système plancher solaire direct (PSD) en deux sous-systèmes plus faciles à résoudre, et à reconstruire ensuite le modèle global en tenant compte des couplages physiques existants entre le capteur et le plancher.

Le tube 100cm, l'épaisseur 20mm et le béton 100cm, 50cm, l'épaisseur 30cm.

Une étude paramétrique du système étudié permis de déterminer en régime dynamique l'évolution des températures dans les différents éléments constituant le système et de définir les caractéristiques optimales de l'installation.

### 3.Histoire de système PSD

Historiquement, l'usage de l'énergie solaire afin de chauffer un fluide, ou un matériau est sans doute une des premières voies de l'utilisation du rayonnement solaire. Les premières réalisations notables datent du XVIII<sup>e</sup> siècle par " l'usage de capteurs à concentration de conception complexe et nécessitant un suivi de la course solaire. " L'un des premiers fours solaires conçu par Lavoisier atteignait la température remarquable de 1750 °C et permettait la fusion des métaux courants. Le four comprenait une lentille de 1.32 m de diamètre. Durant le XIX<sup>e</sup> siècle, de nombreuses tentatives de réalisation de four solaire visaient la production de vapeur pour alimenter des machines à vapeur pour une production d' énergie mécanique[11].

De nos jours environ 3.500 réalisations de plancher solaire direct ont été installées dans la France et notamment dans la région Rhône Alpes[15]. Cette technique de chauffage a été établie dans les années 70 à l'École Supérieure des Ingénieurs de Marseille et a été industrialisée et commercialisée par l'entreprise CLIPSOL dans les années 90[15].

Le solaire thermique basse température permet essentiellement le chauffage de l'eau sanitaire et, dans une moindre mesure, la production combinée de chauffage par plancher chauffant (plancher solaire direct). Cette application de l'énergie solaire, industrialisée depuis plus de 25 ans, est actuellement en phase de croissance accélérée aux Etats-Unis, au Japon et en Europe

En Europe, plus de 600 000 familles ont équipé leur habitation d'un chauffe-eau solaire, la croissance est rapide. L'Allemagne, la Grèce et l'Autriche ont beaucoup développé cette application et possèdent l'essentiel de la surface de capteurs solaires installée dans l'Union Européenne (plus de 75 %).

En France, des dizaines de milliers de chauffe-eau solaires individuels sont installés. Les DOM, avec plus de 20 000 chauffe-eau installés, sont les départements les plus équipés. En métropole, le programme national Hélios 2006 aide l'installation de 15 000 chauffe-eau solaires individuels et de 500 planchers solaires directs par an, jusqu'en 2006. La production d'eau chaude solaire dans les établissements collectifs est également encouragée par l'aide à l'installation de 25 000 m<sup>2</sup> de capteurs d'ici à 2006[16].

La technique du PSD a été conçue et développée par l'École Supérieure d'Ingénieurs de Marseille, France (Roux et al., 1983). Le système PSD permet une plus grande diffusion du chauffage solaire dans les habitations individuelles grâce à la réduction des coûts d'investissement et à la simplicité de mise en œuvre qu'elle entraîne par rapport aux systèmes de chauffage solaire classiques (Chateauminois et al., 1979). Depuis le développement de la technologie de chauffage par PSD, plusieurs installations ont été réalisées, principalement dans le secteur de l'habitat individuel. À cet effet, des campagnes de suivi et de mesure ont permis de vérifier le PSD, notamment le comportement des dalles et leur contribution aux bilan énergétiques, avec des taux de couverture solaire généralement compris entre 30% et 50% (Mandineau, 1985).

Au niveau national, la technique du chauffage solaire par plancher bas et plus précisément le PSD n'a pas encore connu des progrès sur le terrain malgré un environnement favorable vu l'importance du gisement solaire qui couvre la totalité du territoire national (Mefti et al., 2002)[18].

Le chauffage par les planchers est un procédé ancien qui utilisait majoritairement un tube acier sous forme de grilles chauffantes noyées dans l'épaisseur de la dalle pleine.

Sur le plan historique, trois périodes ont véritablement marqué l'histoire du plancher chauffant, à savoir l'époque de l'Empire romain, les années 1960-1980 et l'après-1980. Quoique le plancher chauffant moderne fasse son apparition au début des années 1980, le principe de chauffage par le sol est connu depuis plus de 2000 ans (III-II siècles av. J.-C.). En Europe, les Romains étaient ainsi les premiers à utiliser notamment, dans des hypocaustes, un système de chauffage par le sol à l'aide de l'air chaud circulant dans des canalisations. A peu près en même temps, en Asie, les premiers ondols coréens apparaissent. Ces systèmes représentent un premier exemple non seulement de l'utilisation d'un intermédiaire pour chauffer un local, mais également de la mise en place d'un chauffage central.

La deuxième période qui s'étale entre 1960 et 1980, se caractérise par la redécouverte d'un plancher chauffant qui, à ce moment-là, prend forme d'un réseau de tubes métalliques noyés dans la dalle pleine à l'intérieur de laquelle circule l'eau chaude chauffant le sol à plus de 35°C. Ce système s'avère donc cher, peu efficace, (importante consommation en énergie, problèmes de pose et d'entretien) et impossible à réguler.

La promulgation de l'Arrêté du 23 juin 1978, ouvre une nouvelle étape avec l'apparition d'un plancher chauffant basse température. Ce procédé permet d'obtenir un niveau requis de confort et de ne pas dépasser les 28°C de température au sol. Il met fin aux problèmes liés à la pose d'un tube métallique en préconisant l'utilisation de tubes en matériaux de synthèse et offre les premières possibilités de régulation.

Toutes ces améliorations provoquent une prise de conscience considérable dans le contexte difficile qui suivit les premiers chocs pétroliers. Le plancher chauffant commence à gagner des parts de marché. Les années 1990 apportent une nouvelle amélioration du fait que, le plancher chauffant hydraulique devient un plancher chauffant réversible (fonctionne dans les deux sens, à savoir le chauffage en période froide et le refroidissement en été). La fonctionnalité du plancher chauffant s'élargit, son domaine d'application aussi. Depuis le début des années 2000, le progrès s'accélère davantage dans le domaine du plancher chauffant, de nouveaux systèmes, ne nécessitant pas d'enrobage de béton, font leur apparition sur le marché. La régulation passe, par ailleurs, à un stade supérieur avec la mise en place des thermostats sans fil [17].

#### **4.Fonctionnement**

Un plancher chauffant est un procédé d'émission de chaleur destiné à chauffer un habitat ou un local en utilisant la surface du sol pour chauffer l'air intérieur. Usuellement le plancher chauffant est un système à basse température, utilisant un fluide caloporteur (plancher chauffant hydraulique).

Dans ce système de chauffage, le tube transportant le fluide caloporteur est fixé sur une dalle en matériau isolant (polystyrène, polyuréthane), dalle flottante. Afin de réduire les déperditions de chaleurs, une bande d'isolation thermique est posée tout le long des éléments verticaux en contact avec la dalle [14].



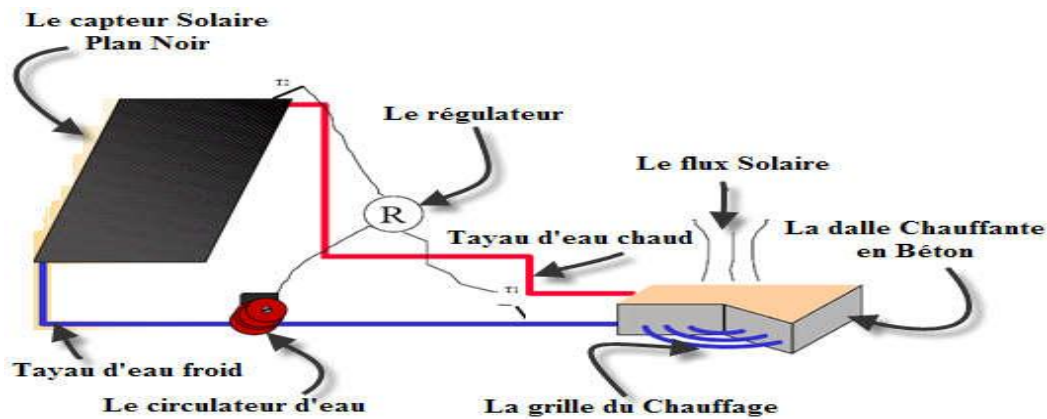


Figure 1.1: schéma descriptif du problème étudié [1].

## Références

- [4] A.oudran ,"contribution à la modélisation et au développement des système de Chauffage solaire à usage individuel", thèse de doctorat ES-science en génie Mécanique ,Ecole nationale polytechnique d'Oran-Maurice Audin,2018 .
- [5] S. Menhoudj , D. Sifodil et A. Mokhtari, "Etude expérimentale d'un système solaire actif-PSD", Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012) ppo479– 488.
- [6] A. Oudrane, M. Hamouda, M. Benhamou, "Evaluation des Performances Thermique de l'installation plancher solaire direct (PSD )",  
Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien  
Adrar, Algérie,2017
- [7] M. benzaama, M. Iachi, A. mokhtri, C. Maalouf, " étude expérimentale de l'efficacité, Energétique d'un plancher solaire direct" ,Université de Reims Champagne-Ardenne, GRESPI, Reims, France Laboratoire LMSR, Université, Djillali Liabès, Sidi Bel Abbes, Algérie,2016 pp0 1-6.

[8] Oudrane, Aour B, Benhamou M, "Analyse de l'effet de l'épaisseur de la dalle chauffante sur l'efficacité thermique d'une installation de plancher solaire direct (PSD)"; implantée à Adrar: 2016.

[9] M. Benzaama, "étude du confort thermique dans l'habitat par des procédés géo-Helithermique", thèse de docteur de l'université de Reims champag-Adeene Université des Sciences et Technologie, Oran 2017

[10] L. Mohammed Cherif, Modélisation du comportement thermique bâtiment Equipé de système combiné, capteur solaire et puits climatique, thèse de doctorat Université de Sidi Bel Abbés, Spécialité : Energétique et Environnement,

[11] S. Menhoudj, Intégration des systèmes à énergies renouvelables dans le Bâtiment: Evaluation des performances énergétiques. 2017/2018

[12] A. Oudran, B. Aour, B. Zeghmami, X. Chesneau, M. Hamouda, "Modélisation et étude paramétrique du confort thermique dans un climat purement désertique", cas la région d'Adrar, 2018

[13] A. Oudrane, B. Aour, B. Zeghmami, X. Chesneau, "étude numérique De la diffusion thermique dans système de stockage d'énergie destiné

Pour la chauffage le sol", la dalle plancher, 2019. V 04, N.01/January 2019

[14] A. Dalila, Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un Plancher solaire direct, Spécialité: Energies Renouvelables, Université Constantine 1/2013.

[15] [ekopeidia.fr/wiki/plancher\\_solaire\\_direct](http://ekopeidia.fr/wiki/plancher_solaire_direct) PSD

[16] Olivier Gergaud. Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau associé à un accumulateur. 9 Décembre 2002

[17] A. Dalila, "Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un Plancher solaire direct", Spécialité: Energies Renouvelable, Université Constantine 1/2013.

[18] A. Oudrane, M. Hamouda, M. Benhamou, " Evaluation des Performances

Thermique de l'installation plancher solaire direct (PSD )"

unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien

Adrar, Algérie,2017

**Chapitre N°2**

**Formulation**

**mathématique du**

**système PSD**

## 1-Introduction

Dans ce domaine, nous mentionnerons les relations mathématiques des transformation thermiques qui se produisent dans le système plancher solaire direct (PSD).

## 2-Les composants du système plancher solaire direct (PSD)

Les composants de ce système [19]:

- Les panneaux solaires,
- Un échangeur de chaleur,
- Une vanne qui contrôle la circulation de l'eau chaude entre les panneaux solaires et les serpentins du plancher chauffant,
- Un circulateur solaire qui est une pompe permettant au glycol de circuler vers les tuyaux du plancher chauffant,
- Un manomètre,
- Une station de mélange qui fera baisser la température de l'eau arrivant au niveau du plancher,
- Un régulateur qui permet de contrôler le chauffage.

Seul un professionnel sera compétent pour l'installation des canalisations et des panneaux solaires. Avant leur pose, certaines règles devront être respectées pour que le chauffage soit performant. Entre autre:

- On veillera à poser des plaques d'isolants sur la dalle de la maison. On appliquera également un adhésif d'étanchéité entre les panneaux pour éviter les déperditions thermiques,
- Les tubes du chauffage seront directement fixés sur cet isolant,
- Une chape légère recouvrira les serpentins et celle-ci pourra être recouverte d'un revêtement de sol.

### **3-Tubes usagés dans plancher solaire direct**

#### **3-1-Tubes en cuivre**

##### **3-1-1-Caractéristiques d'un tube en cuivre**

La principale caractéristique du cuivre utilisé pour les réseaux de canalisation tient dans sa solidité et sa longévité à toute épreuve. Ce matériau permet également de remplacer le plomb qui est désormais formellement interdit pour les risques encourus sur la santé. Les tuyaux en cuivre sont aussi un gage de sécurité incendie[20].

IL existe 2 type de tuyauterie en cuivre:

Les tubes en cuivre recuit se présentent sous forme de couronne. Il s'agit d'un cuivre qui peut se cintrer à froid assez facilement. Il est commercialisé sous forme d'anneaux encerclés autorisant des longueurs allant de 2 à 50 mètres. Le cuivre recuit est généralement privilégié pour les canalisations cachées par encastrement, et peut être enfoui, enveloppé dans un four eau de protection ,sous une chape béton. Les tubes en cuivre écroui se présentent, eux, sous forme de barres. Son aspect esthétique permet une utilisation pour des canalisations apparentes qui seront fixées à l'aide de colliers. Il s'agit d'un cuivre qui doit se cintrer à chaud pour recuire l'emplacement du coude à effectuer. Il est commercialisé sous forme de barres rigides autorisant des longueurs allant de 1 à 5 mètres[20].

##### **3-1-2-Utilisation d'un tube en cuivre**

Le cuivre permet une distribution d'eau chaude, comme d'eau froide. Il est donc le matériau idéal pour les solutions de chauffage. Que ce soit pour l'alimentation ou pour l'évacuation, un large choix de diamètres est disponible. Il faut cependant les adapter en fonction de leur usage. Pour permettre une alimentation, les diamètres nécessaires pour des tubes en cuivre vont de 10 à 22 mm, et pour une évacuation, ceux-ci vont de 32 à 42 mm[20].

Il est important que votre tube en cuivre présente des mention suivantes[2]. :

- La norme NF doit être inscrite, vous garantissant un parfait respect de la conformité.
- Le nom du fabricant, de l'usine de production, ainsi que le pays d'origine doivent être également mentionnés pour permettre une complète traçabilité.
- Pour finir, une mention spécifiant le diamètre extérieur ainsi que l'épaisseur de votre tube en cuivre doit être visible [2].



Figure 2.1 : tube en cuivre [21].

### **3-2-Tube en PER**

#### **3-2-1-Caractéristiques d'un tube en PER**

Un tube en PER, Polyéthylène Réticulé haute densité, appelé à l'international PEX, permet plusieurs usages. En effet, il permet aussi bien une alimentation en eau chaude qu'en eau froide, ce qui fait de lui un matériau qui peut facilement se substituer au cuivre, car celui-ci affiche un coût beaucoup plus abordable[2]. Sa haute résistance à la corrosion et à l'apparition du tartre sont les atouts majeurs des tubes en PER. Ils se présentent dans un large choix de diamètres, mais également de couleurs différentes afin de pouvoir repérer rapidement les conduits d'eau chaude ou d'eau froide. Ce matériau semi-rigide peut ainsi servir aussi bien pour des canalisations destinées aux installations sanitaires que pour des réseaux de chauffage[20]. En revanche,

contrairement au cuivre, un tube en PER ne permet pas de pose apparente et ne proposent que des angles de cintrages assez faibles.

### **3-2-2-Utilisation d'un tube en PER**

Comme pour toute installation de canalisation qui se respecte, le diamètre d'un tuyau devra être adapté en fonction de l'usage. Pour les tubes en PER, il existe, en plus, des classifications dont voici les principales applications[2] :

- Un tube en PER de classe 2 permet une alimentation en eau chaude pouvant s'élever à 60°C avec une pression de 6 bars, ainsi qu'en eau froide sanitaire pouvant s'élever à 20°C avec une pression de 10 bars.
- Un tube en PER de classe 4 permet un réseau de chauffage distribuant des radiateurs basse température, ou un plancher chauffant.
- Un tube en PER de classe 6 permet d'alimenter un réseau de chauffage distribué vers des radiateurs haute température.

Pour ce qui est des accessoires permettant l'installation et le raccordement des tubes en PER, ceux-ci sont classés en trois grandes catégories :

- La famille A, nommée également système ouvert, permet le raccordement avec des tubes de marques différentes.
- La famille B, nommée également système fermé, n'autorise que le raccordement avec la même marque uniquement.
- La famille C, nommée également système libre, tolère la mise en application des familles A et B.





Figure 2.2:tube en PER [22].

### **3-3- Tube en multicouche**

#### **3-3-1-Caractéristiques d'un tube multicouche**

Un tube multicouche cumule les avantages d'une matière métallique et du PER. En effet, comme son nom l'indique, il est composé de 3 couches successives. La première couche intérieure est en PER, ce qui permet de prévenir l'apparition du tartre et de la corrosion. La deuxième couche est composée d'aluminium, synonyme de robustesse et de possibilité de cintrage. Le troisième et dernière couche recouvre cette partie métallique d'une matière PER qui est traitée pour résister aux U.V. Le tube multicouche est donc le compromis parfait entre le tuyau PVC et le cuivre[20].

#### **3-3-2-Utilisation d'un tube multicouche**

Comme les tubes en PER, en fonction de la classification, un tube multicouche peut permettre une distribution d'eau chaude sanitaire allant jusqu'à 60°C, une alimentation de réseaux de chauffage de type chauffage par le sol ou à distribution dans un circuit composé de radiateurs basse température comme haute température (voir classification citée ci-dessus). L'installation et les raccordements se font sans soudure, en revanche, grâce à la couche interne d'un tube multicouche, il est possible de lui faire épouser une courbe à l'aide d'un ressort à cintrer[20].

### 3-4-Tubes en PVC

Une canalisation en tube PVC peut supporter de l'eau chaude comme de l'eau froide, et peut également permettre une évacuation des eaux usées. Les diamètres proposés peuvent aller de 32 à 100 mm[2]. Les découpes et les raccordements peuvent se faire très facilement, sans soudure. En effet, il ne faut jamais chauffer un tube en PVC. Il est à noter qu'il est également possible de peindre un réseau de canalisation réalisé en PVC.

Il existe 2 types de tubes en PVC, le PVC classique et le PVC sur chloré. Ce dernier se veut être un bon isolant et permet une intégration sans nécessiter une protection par un fourreau. Il est à noter qu'un tube en PVC ne pourra pas être cintré, il faudra alors utiliser des coudes et autres raccordements pour obtenir les angles souhaités.



Figure 2.3: Tubes en PVC [23].

## 4-Type de dalle

### 4-1-Les dalles en bois

Les dalles en bois sont faites de planches emboîtées. Elles sont fabriquées le plus souvent en pin ou en teck. Le pin est traité classe 4 alors que le bois exotique reste naturel (il est naturellement classe 4)[24].

Les dalles en bois peuvent être rainurées et différents rendus esthétiques sont possibles.



Figure 2.4: Les dalles en bois [25].

#### **4-2-Les dalles en pierre naturelle**

Les dalles en pierre naturelle sont composées entre autres de granit, de pierre de lave et d'ardoise. Elles sont épaisses et dotées d'une longue durée de vie. Ses irrégularités et ses variations de couleur permettent d'avoir une décoration parfaite de votre extérieur. Pour leur entretien, il suffit d'utiliser une eau savonneuse. Déclinées dans des teintes sobres, les dalles de pierre naturelle restent le dallage favori des français pour leur terrasse. Leur large épaisseur leur confère un avantage indéniable par rapport aux carrelages traditionnels en termes de résistance aux chocs. Ce type de dallage doit être posé sur sable[24].



Figure 2.5: Les dalles en pierre naturelle [25].

### 4-3-Les dalles en pierre reconstituée ou en béton

Les **dalles en pierre reconstituée** constituent un mélange de matériaux naturels et de mortier. Elles sont dotées de différentes tailles et de formes. Les pierres reconstituées offrent la même qualité que les autres types de dalles. Pour les entretenir, il faut les revêtir d'un traitement hydrofuge et les nettoyer à haute pression n'est pas forcément conseillé. Ce type de dalles apporte une touche authentique à la terrasse. Proposées en forme de blocs carrés, triangulaires, arrondis ou rectangulaires, elles nécessitent une surface de pose similaire à celle des dalles en pierre naturelle.

Dans la même catégorie, le dallage en béton est très tendance. Les dalles reçoivent généralement un traitement antitache avant leur commercialisation et se présentent souvent sous la forme de blocs à assembler[24].

Les dalles en béton gravillonné sont composées d'un carré de béton avec des gravillons de tailles différentes. Elles deviennent ainsi antidérapantes et très solides. Les dimensions de ces dalles en béton gravillonnée varient entre 40 x 40 cm et 50 x 50 cm avec une épaisseur de 35 mm ou 42 mm. Son nettoyage peut s'effectuer avec un appareil à haute pression.

Pour les endroits accessibles à tout public, vous pouvez trouver la dalle caoutchouc. Elle est surtout posée sur les aires de jeux. La dalle podotactile est destinée à guider les aveugles et les malvoyants ou même les personnes âgées. Et enfin, il y a la dalle gazon qui est adaptée au parking ou au parc[24]. Autre type de dallage, les carrelages en grès cérame sont parfaitement adaptés aux terrasses extérieures. Facile à poser, ce type de dallage s'adapte à toutes les surfaces et à tous les styles.



Figure2.6: Les dalles en pierre reconstituée ou en béton [25].

## **5-Méthodes de fonctionnement du système plancher solaire direct**

### **5-1-Description de la méthode volume finie "M.V.F"**

La méthode des volumes finis est une version spéciale de la méthode des résidus pondérés où la fonction de projection égale à l'unité . Cette méthode consiste à subdiviser le domaine d'étude en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud principal P. Chaque volume est délimité par : deux interfaces dans le cas monodimensionnel noté (e,w), quatre interfaces dans le cas bidimensionnel (e,w,s,n) et six interfaces dans le cas tridimensionnel (e,w,s,n,t,b). Chaque nœud principal P est limité par des nœuds voisins (E,W) dans le cas monodimensionnel, (E,W,S,N) dans le cas bidimensionnel et (E,W,S,N,T,B) dans le cas tridimensionnel. L'équation différentielle est intégrée dans chaque volume élémentaire finis. Pour calculer l'intégrale dans ce volume élémentaire l'inconnue est représentée à l'aide d'une fonction d'approximation (linéaire, parabolique exponentielle, de puissance etc.) entre deux nœuds consécutifs. Ensuite, la forme intégrale est discrétisée dans le domaine d'étude. Le résultat de discrétisation donne une équation algébrique qui est constituée par les valeurs nodales [26].

## **6-Température ambiante du local**

Le plancher chauffant se comporte comme un grand radiateur au sol. La chaleur, diffusée par rayonnement, est homogène dans toute la pièce[4]. Avec la suppression des zones froides, ce mode de chauffage permet d'obtenir la même sensation de bien-être à 18°C qu'avec un autre type de chauffage à 20°C (sécurité thermique)[27].

## **7-Température superficielle du plancher**

La température superficielle maximale du sol est fixée par décret à 28°C en tout point du local pour une température intérieure de 19°C (DTU 65.8)[4].

La norme européenne donne des valeurs un peu plus importantes, 29°C et même 35°C pour les zones de bordure pour une température intérieure de 20°C[27].

## **8-Température du fluide chauffant**

Le choix de la température de départ du fluide est relativement délicat. La température de départ va influencer[27]:

- La température superficielle du sol
- Les émissions thermiques hautes du plancher chauffant, donc, la longueur de la boucle et par conséquent le pas[27].

Dans tous les cas, la température maximale du fluide ne devra pas excéder 50°C (DTU65.8) Si la température superficielle du sol dépasse 28°C il y a lieu de prendre une température de départ du fluide inférieure ou d'augmenter la chute de température du fluide [27].

## **9-Formulation mathématique des transferts thermique dans le système PSD**

### **9-1-Expression des flux d'énergie**

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie. En reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système[28].

#### **9-1-1-Conduction**

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température [28] :

$$\varphi = -\lambda . s . \text{grad}(T)$$

Ou sous forme algébrique:

$$\varphi = -\lambda . s . \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec :

□ □ Flux de chaleur transmis par conduction (W)

□ □ Conductivité thermique du milieu (W m-1 °C-1)

x Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S :Aire de la section de passage du flux de chaleur (m2)

### **Echange par conduction**

### L'échange entre de béton et tube

Le fluide caloporteur échange de la chaleur par conduction avec la surface du plancher. Cet échange est régi par l'équation suivante :

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} s (T_s - T_b)$$

$$\varphi = \frac{1.75}{0.03} \times 0.44 (60 - 40) = 256.67$$

Avec:

$\varphi$ : Flux de chaleur entre le fluide et la surface du plancher.

$\lambda$  béton : Conductivité thermique du béton.

$e$  : Epaisseur du béton entre le serpentin et la face supérieure du plancher.

$s$  : Surface du béton.

$T_b$ ,  $T_e$  : Températures respectives du plancher et du fluide caloporteur (l'eau).

### 9-1-2 Convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton[28] :

$$\varphi = h \cdot s (T_p - T_\infty)$$

Avec :

$\varphi$  Flux de chaleur transmis par convection (W)

$h$ : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>)

$T_p$ : Température de surface du solide (°C)

$T_\infty$ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

$S$ : Aire de la surface de contact solide/fluide (m<sup>2</sup>)

**Remarque:** La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection  $h$  est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

### Echange par convection

Les échanges par convection existent principalement entre :

- Le béton et le fluide caloporteur (eau). (apport de chaleur pour le plancher).
- Le béton et l'air. (pertes de chaleur pour le plancher).

Les équations s'écriront alors comme suit :

**-L'échange entre le fluide caloporteur et béton**

$$\Phi = h_{bf} \cdot S_{bf} \cdot (T_f - T_b) \tag{1}$$

$$\Phi = 11.6 \cdot 0.5 \cdot (70 - 60) = 58$$

Avec :

$\Phi$ : Flux de chaleur d'échange convectif entre le fluide et la surface du béton.

$h_{bf}$  : Coefficient de transfert de chaleur convectif entre le fluide et le béton.

$S_{bf}$  : Surface d'échange entre le fluide et le béton r, rapportée à la longueur du béton.

**-L'échange entre le béton et l'air**

On utilise la relation :

$$\Phi = h_{ba} \cdot S_b \cdot (T_b - T_a) \tag{2}$$

$$\Phi = 0.026 \cdot 0.5 \cdot (40 - 20) = 0.26$$

Avec :

$\Phi$ : Flux de chaleur échangé par convection entre la surface du béton et l'air.

$h_{ba}$ : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le béton et l'air.

$S_b$ : Surface du béton.

$T_a$  : Température de l'air.

**10-Calcul analytique du rendement mensuel du plancher**

Le rendement du PSD peut être calculé à partir de la relation suivante[29]:

$$\eta_{p0} = \eta_{p0} - \frac{a}{(E_R)^n} \tag{3}$$

Pour les dalles épaisses équipées de capteurs plans solaires noirs, nous avons:

$$\eta_{p0} = 0.574 + 0.025 \Delta T - 0.440 \cdot R_0 \tag{4}$$

$$a = (0.03898 \cdot \Delta T + 0.0273) \times (0.6 - R)^{0.25} \tag{5}$$



$n=0.6$

Où  $\eta_{p0}$  et  $\sigma$  sont des fonctions du rapport capteurs/dalle ( $R_0$ ) et de l'écart moyen de température ( $\Delta T$ ). Ces expressions varient en fonction du type de système concerné, de même que l'exposant ( $n$ ).

### 11-Calcul de l'énergie journalière reçue par le capteur

L'ensoleillement moyen reçu  $E_R$ , pour un mois par mètre carré de capteur, peut être calculé comme suit:

$$E_R = E_{\max} * (0.25 + 0.75 \cdot \sigma) \text{ en kwh/w}^2 \cdot \text{j} \quad (6)$$

### 12- Calcul des températures superficielles du plancher

Pour un mois donné, on connaît, pour la configuration réelle, l'énergie solaire moyenne reçue  $E_R$ , et le rendement corrigé, le produit de ces deux valeurs représente l'énergie solaire réellement fournie par jour et par mètre carré de capteur qui se trouve distribuée par une surface de plancher ( $E_R$ ), égale à  $1/R_0$  en dalle épaisse. La quantité d'énergie émise par jour pour 1 m<sup>2</sup> de plancher est donc [11]:

$$E_U = E_R \cdot \eta_p \cdot F_t \cdot R_0 \quad \text{en kwh/w}^2 \cdot \text{j} \quad (7)$$

En supposant les pertes thermiques entre le capteur et la dalle négligeables, la chaleur cédée à la dalle est égale à l'énergie captée par le capteur (puissance utile), on peut donc écrire:

$$\Delta t = T_{pl\alpha} - T_{in} = \frac{n_p \cdot f_t \cdot E_R \cdot R_0}{24 \cdot h_i} \quad (8)$$

Pour connaître les températures maximales du plancher en conditions normales, on ajoute à la température moyenne ci-dessus, l'amplitude relative comme suit [6]:

$$\Delta T_a = (1 \pm a) \times \frac{n_p \cdot f_t \cdot E_R \cdot R_0}{24 \cdot h_i} \quad (9)$$

$$T_{\max} = T_{in} + (1 \pm a) \times \frac{n_p \cdot f_t \cdot E_R \cdot R_0}{24 \cdot h_i} \quad (10)$$

## Références

- [19] <https://www.calculeo.fr/eco-travaux/le-chauffage/plancher-solaire-direct> ,  
07/04/2021.
- [20] <https://www.xpair.com/lexique/definition/tubes.htm>, 02/05/2021.
- [21] J.MR, D-DTB ,tube en cuivre, pp03/48,2006
- [22] fichier technique tube PER prégainé, pp01,25/04/2019.
- [23] SOTICI-Documentation technique des tube PVC-U Pression, pp4/18.
- [24] <http://www.dynamique-environnement.com/amenagement-paysager/les-differents-types-de-dallages/>, 4/05/2021.
- [25] <https://www.google.com/search> ,8/06/2021.
- [26] cours méthode des volumes finis.
- [27] A. Dalila "*Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un Plancher Solaire direct* ", Spécialité: Energies Renouvelables, Université Constantine ,/1/2013
- [28] Yvers Jannot & Christian Moyne "*transferts thermiques et 55 exercices corrigés*",2ème année, Ecole des Mines Nancy,2012, pp 10-11.
- [29] A. Oudrane, M. Hamouda, M. Benhamou,"*Evaluation des Performances Thermique de l'installation plancher solaire direct (PSD )*" Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien Adrar, Algérie, pp ,03/7/2017

**chapitre N03**  
**méthodologie numérique et**  
**rédaction d'un**  
**communication et rédaction**  
**du mémoire.**

## 1. Introduction

Dans cet chapitre le résultat l'étude de l'évolution de la température dans le tube et dans la dalle et détermination de la propriété thermique de l'eau et de la béton .

### 1.2 Propriétés thermique de l'eau

Cp:chaleur spécifique	4182 j/(Kg.K)
$\rho$ :masse volumique	<b>1000 Kg/m<sup>3</sup></b>
$\mu$ :vitesse moyenne du fluide en m/s	<b>10<sup>-3</sup> Kg / (m.s)</b>
$\lambda$ :conductivité thermique	<b>0,597 w/(m<sup>2</sup>.k)</b>

Tableau .01: Propriétés thermique de l'eau [1].

### 1.3 Propriétés thermique de béton

cp	chaleur spécifique j/(Kg.K)	1000
$\rho$	<b>masse volumique Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2400</b>
$\lambda$	<b>conductivité thermique w/(m<sup>2</sup>.k)</b>	<b>1,75</b>

Tableau .02: Propriétés thermique de béton [1].

### 1.4 Condition aux limité

-La température initiale:( 60 c°)

-La vitesse de l'eau de diamètre 20mm de tube cuivre:0.63m/s

## 1.5 L'évaultion de la température dans la tube

### Commenter:

Nous remarquons à travers la figure 01- que l'augmentation la température d'eau à la sortie du capteur solaire entré dans tube , c'est –à-dire que l'eau chaude pénètre dans le tube . mais avec le temps , la température de l'eau dumine et il sorte froid. Très forte augmentation de Pression de l'eau ,mais avec le temps, Pression de l'eau est dumine.

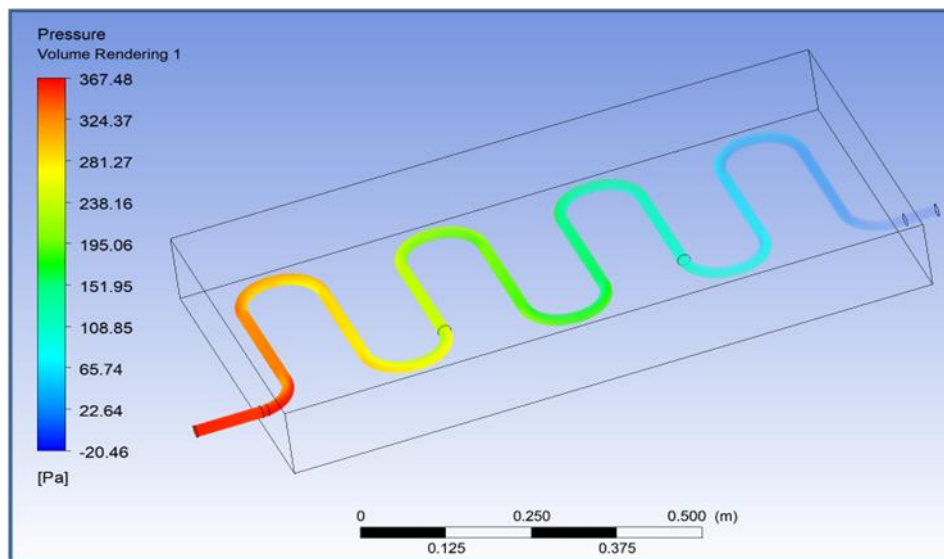


Figure 3.1:Pression de l'eau

### Commenter

la figure 02 nous observons le mouvement de l'eau dans le tube et et Rationaliser de l'eau la vitesse de l'eau est uniforme.

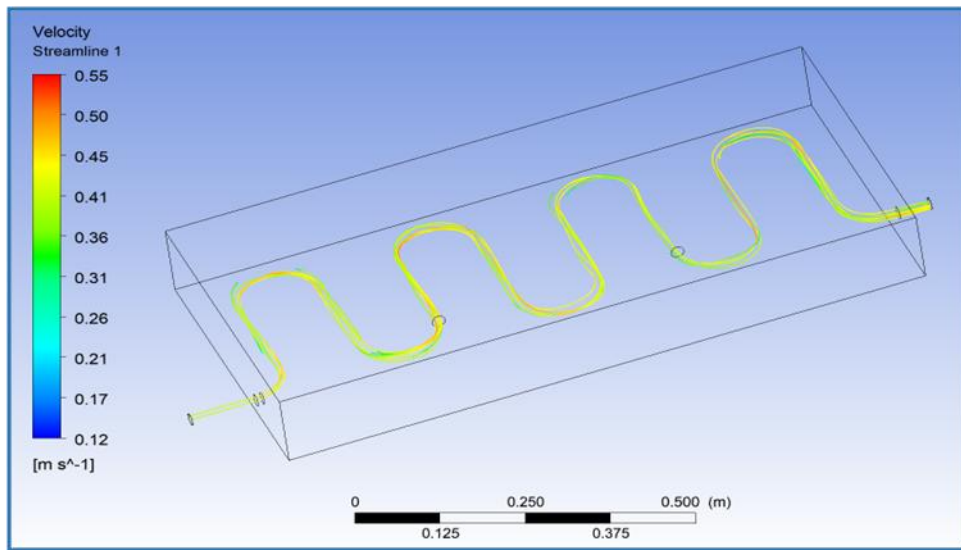


Figure 3.2: Rationaliser de l'eau.

### 1.6 l'évolution de la température dans la dalle

Nous remarquons à travers la figure 03-04 le mouvement de la température dans la dalle pour afin d'obtenir basse température (conforte thermique).

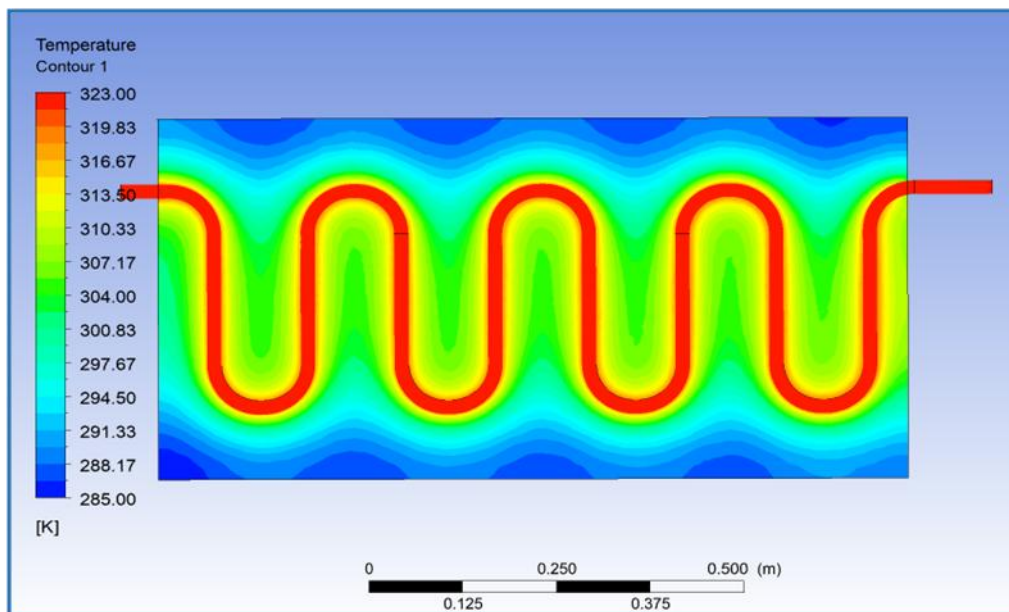


Figure03.3 : l'évolution de la température dans la dalle

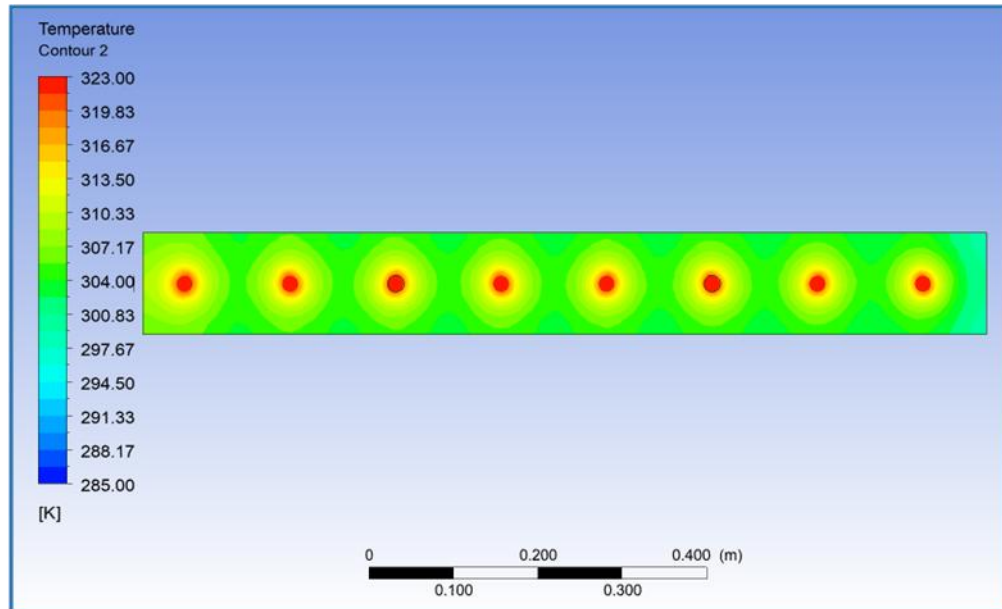


Figure 3.4: le contour de la Température

### 1.6.1 l'évolution de température dans la dalle en le premier

#### Commenter:

La figure 05 une croissance linéaire de la température en fonction de temps .Nous notons que la température de béton augmenter avec le temps puisque dans le temps 0h était la température 285 k avec le temps 14.30h ,la température a atteint son maximum 315 k(40 c<sup>0</sup>).

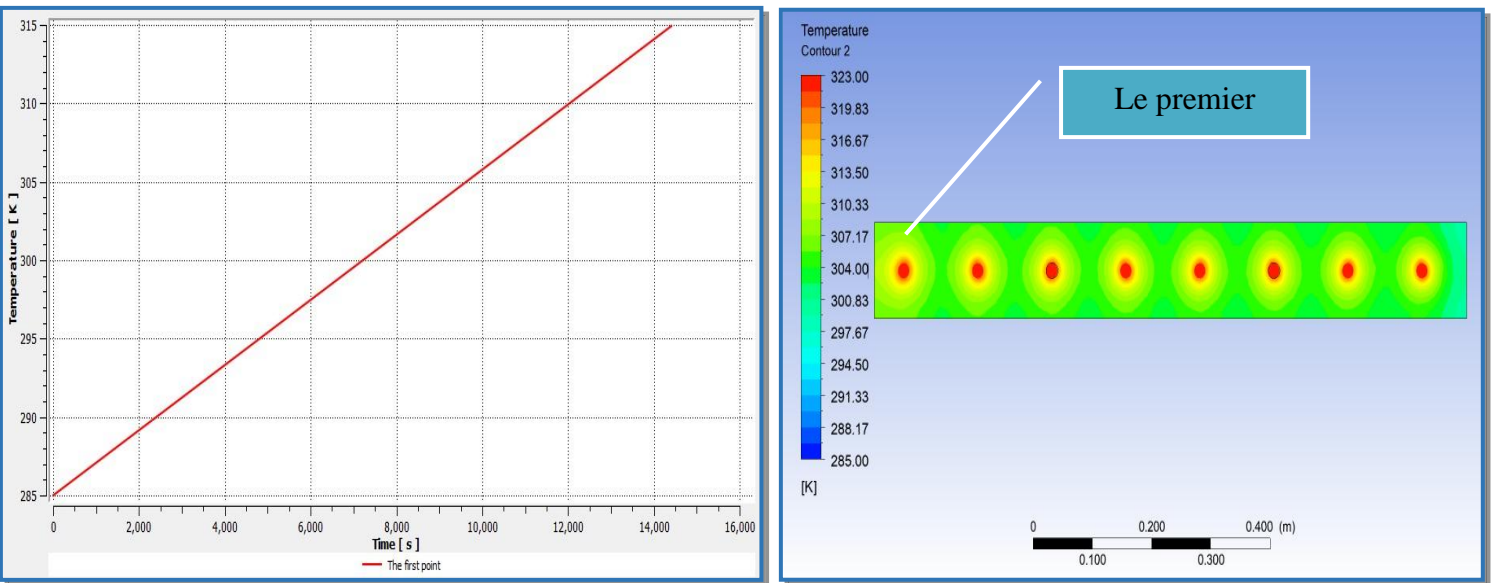


Figure 3.5: l'évolution de température dans la dalle en le premier en fonction de temps

### 1.6.2 l'évolution de température dans la dalle en le médian

**Commenter:**

La figure 06 une croissance linéaire de la température en fonction de temps .Nous notons que la températuer de dalle augmenter avec le temps puisque dans le temps 0h était la temperature 285 k ,avec le temps 14.30h la température a atteint son maximum 312 k(39 c<sup>0</sup>).



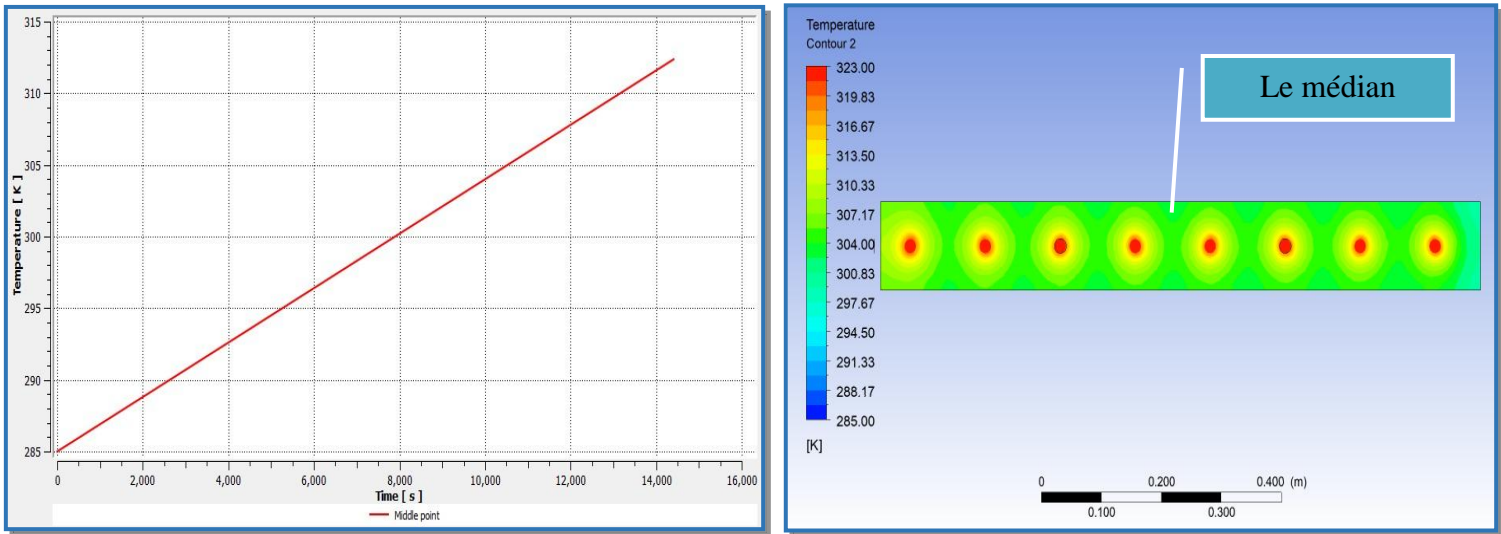


Figure 3.5: l'évolution de température dans la dalle en le médian en fonction de temps

### 1.6.3 l'évolution de température dans la dalle en le dernier

#### Commenter:

La figure 07 une croissance linéaire de la température en fonction de temps .Nous notons que la température de dalle augmenter avec le temps puisque dans le temps 0h était la température 285 k ,avec le temps 14.30h la température a atteint son maximum 310 k(37 c<sup>0</sup>).

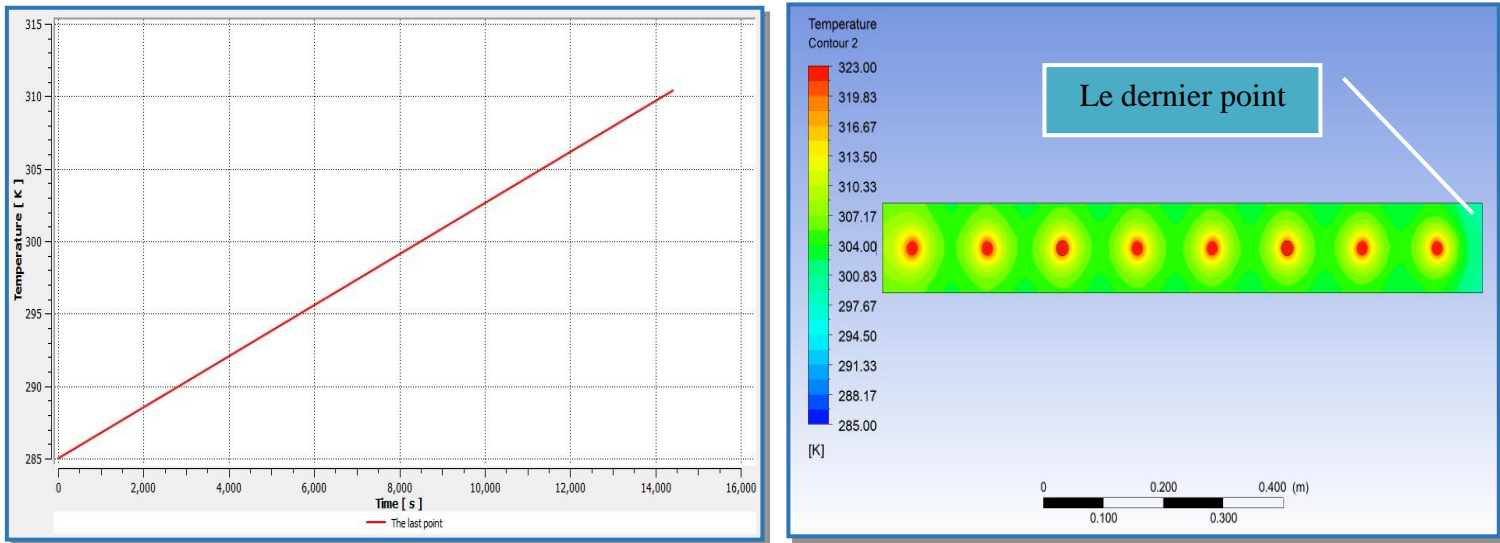


Figure 3.6: l'évolution de température dans la dalle en le dernier en fonction de temps.

**Interprétation:**

Nous concluons qu'il existe une stabilité de la température de la dalle avec le passage du temps température superficielle de dalle ne doit dépasser  $28c^0$ .

**Références :**

[30] A.oudran , "contribution à la modélisation et au développement des système de Chauffage solaire à usage individuel", thèse de doctorat ES-science en génie

Mécanique ,Ecole nationale polytechnique d'Oran-Maurice Audin,2018

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Le soleil est la source permanente pour la production d'énergie grande et pure à rien .Il ne contient pas beaucoup ou peu de dommage à l'environnement. Le système de plancher solaire direct est l'une de ces méthodes qui produisent de l'énergie et sous toute forme d'énergie (chaleur ou électricité).Cet technologie ou ce système, considéré comme moderne, était principalement utilisé pour couvrir les besoins de chauffage.

Le travail entrepris dans le cadre de ce mémoire a porté sur la modélisation et la dimensionnement d'un système du chauffage solaire par plancher dont l'apport d'énergie est assuré par un capteur solaire.

Pour atteindre cet objectif nous subdivisé le travail en phase fondamentale:

-Première phase a été réservée pour la modélisation du transfert thermique par conduction et convection au sien de dalle de béton.

-Le deuxième phase a été dédiée pour l'évolution du confort thermique de tube et dalle au sien de l'environnement habitable .

Nous avons trouvé les résultats :

-La plancher chauffant basse température offre une confort d'utilisation maximale (la température ne doit dépasser  $28\text{ c}^0$ , tout en étant supérieure ou égale à la température de consigne de l'air . Il peut être couplé à un appareil de régulation de chaleur pour que la température dans votre maison soit toujours uniforme conformité de système.

Plus épaisseur de dalle est grande, plus le stockage thermique est important .Il est économique , l'énergie solaire étant gratuité. Il est écologique , l'énergie solaire fait partie des sources d'énergie les plus propres qui existent .il plus simple (fonctionnement par très simple ).efficace, (meilleur rendement par rapport à la production des capture.Ainsi, cette méthodologie facilite la prise de décision pour leurs projet et encourage ainsi l'utilisation de telle respectueuses de l'environnement . Cette démarche se caractérise par la réduction de la consommation d'énergie et la réduction des émissions polluantes (gaz à effet de serre).

## **Conclusion générale**

---

Enfin encore des améliorations, Dans ce domaine est énorme et important. La promotion et le développement de cette source d'énergie repose sur les épaules des différents acteurs qui sont principalement les pouvoirs publics, les aménageurs et les ingénieurs dédiés à l'énergie et il y a aussi des missions. Il est nécessaire de réhabiliter les ressources d'énergie plancher thermique pour générer la demande et la soutenir en sensibilisant et en informant tout le monde et en même temps en innovant pour améliorer les performances et réduire les coûts.

### LISTE DES ABREVIATIONS

PSD Plancher Solaire Direct

PER Poly Ethylène Réticulé

PVC Poly Vinly Chloride

MVF Méthode Volume Finie

## Résumé

L'objectif dans ce travail porte sur la modélisation et le dimensionnement d'un système de chauffage solaire par plancher dont l'apport d'énergie est assuré par un capteur solaire.

Le principe de la technique du plancher solaire direct, est de faire circuler directement dans un plancher un fluide chauffé par des capteurs solaires sans utiliser des cuves de stockage intermédiaires.

La stratégie consistera à décomposer le système plancher solaire direct (PSD) en deux sous-systèmes plus faciles à résoudre, et à reconstruire ensuite le modèle global en tenant compte des couplages physiques existants entre le capteur et le plancher.

Une étude paramétrique du système étudié permis de déterminer en régime dynamique l'évolution des températures dans les différents éléments constituant le système et de définir les caractéristiques optimales de l'installation.

## المخلص

يتعلق الهدف من هذا العمل بنمذجة وتحجيم نظام التدفئة تحت الأرضية الشمسي الذي يتم توفير إمداده بالطاقة بواسطة مجمّع شمسي.

مبدأ تقنية الأرضية الشمسية المباشرة هو الدوران المباشر في الأرضية لسائل يتم تسخينه بواسطة مجمعات الطاقة الشمسية دون استخدام صهاريج تخزين وسيطة.

ستتألف الإستراتيجية من تقسيم نظام الأرضية الشمسية المباشر (PSD) إلى نظامين فرعيين يسهل حلها ، ثم إعادة بناء النموذج العام مع الأخذ في الاعتبار الروابط المادية الحالية بين المجمع والأرضية.

أتاحت دراسة بارامترية للنظام المدروس تحديد تطور درجات الحرارة في العناصر المختلفة التي تشكل النظام في نظام ديناميكي وتحديد الخصائص المثلى للتركيب.