

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de l'Automatique et Electromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et de la Technologie

Filière : électromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

**Modélisation du comportement
thermique d'un plancher chauffant**

Présenté par :

Slimane TALEB AHMED

Soutenue publiquement le 02 / 06 / 2024

Devant le jury composé de :

BEN OUDINA Belkheir	MCB	Université de Ghardaïa	Président
BELLAOUER Abderrahmane	Pr	Université de Ghardaïa	Examinateur
BOUSNANE Toufik	MAB	Université de Ghardaïa	Examinateur
BELAGHIT Abdelhakem	MAB	Université de Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2023 / 2024



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Avant tout à ma chère mère,
à l'esprit de mon père
(que dieu ait son âme).*

*A tous mes frères et Sœurs Et à toute la
famille*

TALEB AHMED

*A tous mes amis et collègues de l'université
A toutes mes adorables que j'ai connu pendant
toute ma vie ...*

Slimane

Remerciements

Avant tout propos, je remercie « Dieu » le tout puissant qui me donné sagesse et santé pour faire ce modeste travail.

Nous adresserons nos remerciements, et à exprimer mes reconnaissances à mon promoteur **Mr. BELAGHIT Abdelhakem** pour leur encadrement et soutien.

Je tiens à exprimer mes respectueux et sincères remerciements à tous les membres du jury (président et examinateurs) qui ont accepté d'examiner ce travail.

A monsieur **KHELIFA Abdelkrim** enseignant dans l'unité pratique de l'énergie renouvelable pour leur soutien et leurs efforts durant la période de stage pratique.

Je saisis cette occasion pour exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants de département de département de l'Automatique et électromécanique à l'université de Ghardaïa.

Enfin, que tout ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soient assurés de ma profonde gratitude.

Résumé

Le travail exposé dans ce mémoire porte sur l'analyse du phénomène de chauffage et de diffusion thermique à l'aide d'une plaque chauffante dans une pièce de dimension déterminée, chauffée par des tubes serpentinaux installés en bas. Nous examinons deux configurations dans notre recherche, une de forme carrée et une autre de forme circulaire. Dans notre analyse, nous faisons varier la température de 325 K à 360 K et la vitesse d'écoulement de 0,1 m/s à 0,5 m/s en utilisant un logiciel ANSYS de simulation.

Mots clés : diffusion, Plaque Chauffants, forme carrée, forme circulaire , Modélisation, ANSYS.

Abstract

The work presented in this dissertation concerns the analysis of the phenomenon of heating and thermal diffusion using a heating plate in a room of determined size, heated by serpentine tubes installed at the bottom. We are looking at two configurations in our research, one square shaped and another circular shaped. In our analysis, we vary the temperature from 325 K to 360 K and the flow velocity from 0.1 m/s to 0.5 m/s using simulation ANSYS software.

Keywords: diffusion, Heating Plate, square shape, circular shape, Modeling, ANSYS

ملخص:

يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بتحليل ظاهرة التسخين والانتشار الحراري باستخدام لوحة تسخين في غرفة ذات حجم محدد، يتم تسخينها بواسطة أنابيب سريبتينية مثبتة في الأسفل. نحن ننظر إلى تكوينين في بحثنا، أحدهما على شكل مربع والآخر على شكل دائري. في تحليلنا، نغير درجة الحرارة من 325 كلفن إلى 360 كلفن وسرعة التدفق من 0.1 م/ث إلى 0.5 م/ث باستخدام برامج المحاكاة ANSYS

كلمات مفتاحية : الانتشار، لوحة التسخين، الشكل المربع، الشكل الدائري، النمذجة، ANSYS

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III

<i>Tableau III.1. Tableau des dimensions</i>	.....39
<i>Tableau III.2. Tableau des dimensions</i>	..... 39
<i>Tableau III.3. Tableau des dimensions</i>	..... 40
<i>Tableau III.4. Tableau des dimensions de la Dalles</i>	..... 41
<i>Tableau III.5. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	..... 41
<i>Tableau III.6. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	..... 42
<i>Tableau III.7. Tableau du nombre de nœuds</i>	..... 42
<i>Tableau III.8. Tableau du nombre de nœuds</i>	..... 43
<i>Tableau.III.9. Tableau du nombre de nœuds</i>	.....43
<i>Tableau III.10. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	..... 44
<i>Tableau III.11. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	.....
<i>Tableau III.12. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	.....45
<i>Tableau III.13. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	.....45
<i>Tableau III.14. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments</i>	.....45
<i>Tableau III.15. Tableau montrant la différence de température et de vitesse Contre-courant circulaire</i>	
<i>Tableau III.16. Tableau indiquant la variation de la température et de la vitesse constante</i>	
<i>Tableau III.17. Tableau indiquant la variation de la vitesse et de la température constante</i>	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1. Principe du mur trombe	07
Figure I.2. Système Barra-Costantini (B-C)	07
Figure I.3. Plancher de type A	09
Figure I.4. Plancher de type B	09
Figure I.5. Plancher chauffant(Le chauffage au sol).....	13
Figure I.6. Types de planchers chauffants	13
Figure I.7. Plancher chauffant hydraulique.....	14
Figure I.8. Réseau de tubes d'un plancher chauffant hydraulique.	14
Figure I.9. Réseau de tubes d'un plancher chauffant électrique	15
Figure I.10. Composants d'un plancher chauffant hydraulique.	15
Figure I.11. Tube en PEX-Al-PEX.....	16
Figure I.12. Formation de boue dans un tube en Polyéthylène.	17
Figure I.13. Tube en PERT muni d'une barrière anti-oxygène.	17
Figure I.14. Dalle de stabilisation d'un plancher chauffant.....	17
Figure I.15. La chape d'un plancher chauffant.	18
Figure I.16. Dalles isolantes de plancher chauffant.	19

CHAPITRE II

Figure II.1. Schéma d'une installation destinée pour le chauffage des maisons.....	21
Figure II.2. Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon.....	22
Figure II.3. Système de chauffage solaire par le Plancher Solaire Direct.	23
Figure II.4. Configurations possibles pour la disposition du réseau de tube.....	24
Figure II.5. Distribution de la température pour les 3 configurations.	25
Figure II.6. Capteurs plans sans vitrage.....	26
Figure II.7. Capteurs plans avec vitrage.	27
Figure II.8. Capteurs solaires à tubes sous vide.....	27
Figure II.9. Les capteurs à concentration fixes	28
Figure II.10. Système de chauffage solaire.....	29
Figure II.11. Les panneaux solaires.....	31
Figure II.12. Le ballon tampon	33

CHAPITRE III

Figure III.1. Interface logicielle ANSYS	36
Figure III.2. Forme Serpentin	37
Figure III.3. Forme Double Serpentin	37
Figure III.4. Forme Contre-courant	37
Figure III.5. Contre-courant circulaire	38
Figure III.6. Contre-courant Care	38
Figure III.7. Tube Contre-courant Car	39
Figure III.8. Image des dimensions	39
Figure III.9. Tube Contre-courant circulaire	39
Figure III.10. Image des dimensions.....	39

<i>Figure III. 11. Image de la chambre</i>	40
<i>Figure III.12. Image de la Dalle isolante circulaire</i>	40
<i>Figure III.13. Image de la Dalle isolante Carré</i>	40
<i>Figure III.14. Image de la Dalles</i>	41
<i>Figure III.15. Maillage Contre-courant Car</i>	41
<i>Figure III. 16. Maillage chambre</i>	42
<i>Figure III. 17.1.Maillage Dalle</i>	42
<i>Figure III. 17.2. Maillage Dalle</i>	42
<i>Figure III. 18.1. Maillage Tube</i>	43
<i>Figure III. 18.2. Maillage Tube</i>	43
<i>Figure III. 19.1. Maillage Dalles isolantes</i>	43
<i>Figure III. 19.2. Maillage Dalle isolante</i>	43
<i>Figure III.20. Maillage Contre-courant circulaire</i>	44
<i>Figure III.21. Maillage chambre</i>	44
<i>Figure III.22. Maillage Tube</i>	45
<i>Figure III.23. Maillage Dalle</i>	45
<i>Figure III.24. Maillage Dalle isolante</i>	45
CHAPITRE IV	
<i>Figure IV.1. Variation de T° et vecteurs vitesse en fonction de la vitesse d'entrée</i>	48
<i>Figure IV.2. La variation de T° de sortie en fonction de la vitesse d'entrée</i>	48
<i>Figure IV.3. La variation de T° et vecteurs vitesse en fonction de T° d'entrée</i>	50
<i>Figure IV.4. la variation de T° de sortie en fonction de T° d'entrée</i>	50
<i>Figure IV.5. La variation de T° et vecteurs vitesse en fonction de la vitesse d'entrée</i>	52
<i>Figure IV.6. La variation de T° de sortie en fonction de la vitesse d'entrée</i>	52
<i>Figure IV.7. La variation de T° et vecteurs vitesse en fonction de T° d'entrée.</i>	54
<i>Figure IV.8. La variation de T° de sortie en fonction de la vitesse d'entrée</i>	54
<i>Figure IV.9. La variation de T° de sortie en fonction de la vitesse d'entrée</i> <i>(Concept carré et serpentine)</i>	55
<i>Figure IV.10. La variation de T° de sortie en fonction de T° d'entrée</i> <i>(Concept carré et serpentine)</i>	56

TABLE DES MATIÈRES

<i>Introduction générale</i>	01
------------------------------------	----

CHAPITRE I : système de chauffage solaire

<i>I. Energie solaire</i>	03
<i>I.1. Définition</i>	03
<i>I.2. Transfert de l'énergie solaire</i>	03
<i>I.2.1. Energie solaire thermique</i>	03
<i>I.2.2. Énergie solaire photo voltaïque</i>	03
<i>I.2.3. Énergie solaire thermodynamique</i>	04
<i>I.3. Application thermique de l'énergie solaire</i>	04
<i>I.3.1. Electrification</i>	04
<i>I.3.2. Climatisation</i>	05
<i>I.3.3. Production d'eau chaude</i>	05
<i>I.3.4. Agriculture</i>	05
<i>I.4. Chauffage solaire</i>	06
<i>I.4.1. Différents systèmes de chauffage solaire</i>	06
<i>I.5. Système Solaire Combiné</i>	10
<i>I.5.1. Chauffage solaire d'une maison par dalle chauffante</i>	10
<i>I.5.2 Plancher Solaire Direct (PSD®):</i>	11
<i>I.5.3 Système A Hydro-Accumulateur</i>	11
<i>I.6. Planchers chauffants</i>	12
<i>I.6.1. Définition</i>	12
<i>I.6.2. Histoire</i>	12
<i>I.6.3. Évolutions</i>	12
<i>I.7. Principe de fonctionnement Plancher chauffant</i>	12
<i>I.8. Types de plancher chauffant</i>	13
<i>I.8.1. Plancher chauffant hydraulique</i>	14
<i>I.8.2. Plancher chauffant électrique</i>	14
<i>I.9. Différents composants d'un plancher chauffant</i>	15
<i>I.10 Caractéristique de planche chauffant Le réseau de tube</i>	16
<i>I.11. Avantages des planchers chauffants</i>	19
<i>I.12. Inconvénients des planchers chauffant</i>	20

CHAPITRE II : Les installations de chauffage solaire

II.1. Chauffage solaire.....	21
II.2. Principe de fonctionnement	22
II.2.1. Types d'installations de chauffage	22
II.3. Choix du plancher chauffant	23
II.4. Capteurs solaires	25
II.4.1. Etude énergétique sur le capteur	25
II.4.1.1. Bilan thermique d'un capteur	25
II.4.2. Capteurs plans sans vitrage.....	26
II.4.3. Capteurs plans avec vitrage.....	26
II.5. Principe du capteur solaire	28
II.6. Type des Pompes utilisées.....	29
III.6.1.Pompes centrifuges.....	30
III.6.1.1.Principe de fonctionnement	30
III.6.1.2. Utilisation	30
II.7. Panneaux solaires.....	30
II.7.1. Choix des panneaux solaires	31
II.7.2. Principe de fonctionnement et utilisations.....	31
II.7.3. Panneaux Solaires Thermiques	32
II.7.3.1. Fonctionnement Et Utilisations	32
II.8. Ballon Tampon.....	32
II.8.1. Fonctionnement et critères de choix.....	33
II.8.2. Différents types de ballon tampon	34
II.8.3. Principaux avantages et inconvénients.....	34
II.9. Chauffage D'appoint	34
II.9.1. Différents dispositifs de chauffage d'appoint	35

CHAPITRE III : Implémentation d'ANSYS Fluent

III.1. Introduction	36
III.2. Définition de l'ANSYS	36
III.3. Type de plancher chauffant	37
III.4. Choix d'un plancher chauffant	37

III.4.1. Types de Contre-courant) Counter Flow (.....	37
III.4.1.1. Contre-courant circulaire	37
III.4.1.2. Contre-courant Care	38
III.5. Propriétés et composants	38
III.6. Planification	39
III.6.1. Tube	39
III. 6.1.1. Tube Contre-courant Carré.....	39
III.6.1.2. Tube Contre-courant circulaire	39
III.6.2. Chambre	40
III.6.3. Dalles isolantes	40
III.6.4. Dalles	40
III.7. Maillage	41
III.7.1. Maillage Contre-courant Carré	41
III.7.2. Maillage chambre) Contre-courant Carré (.....	42
III.7.2.1. Maillage Dalles	42
III.7.2.2. Maillage Tube) Contre-courant Carré).....	42
III.7.2.3. Maillage Dalles isolantes	43
III.7.3. Maillage Contre-courant circulaire	44
III.7.3.1. Maillage chambre	44
III.7.3.2. Maillage Tube	44
III.7.3.3. Maillage Dalles	45
III.7.3.3.1. Maillage Dalles isolantes	45

CHAPITRE IV: Résultats, discussion et interprétation

IV.1. Introduction	46
IV.2. Présentation des résultats	46
IV.2.1. Effet de la vitesse d'entrée d'eau chaud (concept carrée).....	46
IV.2.2. Effet de la température d'entrée d'eau chaud (concept carrée).....	49
IV.2.3. Effet de la vitesse d'entrée d'eau chaud (concept cercle)	51
IV.2.4. Effet de la température d'entrée d'eau chaud (concept cercle)	53
IV.3. Etude comparatif entre les conceptions étudiées	54
IV.4. Conclusion	56
Conclusion générale	57

Liste des abréviations

Symboles	Désignations
SEER	Coefficient efficacité énergétique
BTU	Unité thermique britannique
PEX	Polyéthylène réticulé
PERT	Polyéthylène Raised Température pour le transport d'eau à haute température et haute pression
BAO	Barrière anti-oxygène
PSE	Polystyrène expansé haute densité
XPS	Polystyrène extrudé
PUR	Mousse de polyuréthane rigide
NF B 20-001/20-109	Les panneaux de laine minérale conformes
SSC	Système Solaire Combiné
CESI	Chauffe-eau solaire individuel
PSD	Le Plancher Solaire Direct
CFD	Logiciel de simulation de mécanique et transfert thermique
m^3	débit de fluide caloporteur (m^3/h)
TEF	La température d'entrée (K)
TEC	la température de sortie (K)
Q	L'énergie solaire absorbée (J)
QU	l'énergie utile (J)
Q_{pertes}	L'énergie Perdue (J)
ANSYS	Logiciel de modélisation de comportement thermique du système de chauffage par le sol,
Serpentin	Type de plancher chauffant
Maillage	Modélisation géométrique

Introduction Générale

La plupart de l'énergie utilisée actuellement provient de sources non renouvelables telles que le charbon, le pétrole, le gaz naturel et l'énergie nucléaire. Ces sources d'énergie sont en voie d'épuisement en raison de la forte demande due à la croissance démographique et aux progrès technologiques. Il est donc impératif de trouver des alternatives fiables, telles que les énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie naturelles qui ne s'épuisent pas et ont un faible impact sur l'environnement. Elles proviennent directement ou indirectement du soleil. Il existe cinq principales formes d'énergies renouvelables : l'eau, la biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie solaire et la géothermie.

L'énergie solaire, qui est à l'origine de toutes les formes d'énergie sur Terre, est une solution prometteuse pour résoudre la crise énergétique à l'avenir. Cependant, son utilisation reste limitée, notamment en Algérie, où elle est principalement utilisée pour la production d'énergie.

Nous nous intéressons particulièrement à l'énergie thermique comme principale source d'énergie pour le chauffage par le sol d'une maison. Notre mémoire est divisé en quatre chapitres

Le premier chapitre : Comporte une étude bibliographique concernant les principaux travaux de recherches scientifiques sur systèmes de chauffage solaire.

Le deuxième chapitre : L'étude présente une analyse théorique des installations de chauffage solaire, des applications de chauffage solaire et de leurs technologies.

Le troisième chapitre : L'étude théorique porte sur l'utilisation d'un plancher solaire direct dans le cas spécifique d'une chambre séparée.

L'étude théorique concerne l'utilisation d'un plancher chauffant dans le cas spécifique d'une individuelle.

nous effectuons la modélisation du comportement thermique d'un plancher chauffant en utilisant le logiciel ANSYS.

Dans le dernier chapitre :

Nous modélisons le comportement thermique d'un système de chauffage par le sol à l'aide d'ANSYS.

Les résultats obtenus sont ensuite présentés et interprétés et une comparaison est faite entre les deux modélisations pour déterminer laquelle est la meilleure et la plus efficace. En fin, nous concluons cette étude par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Systeme de chauffage solaire

Chapitre 1

Systeme de chauffage solaire

I. L'énergie solaire

I.1. Définition

L'énergie solaire provient du soleil et peut être utilisée pour produire de l'électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques qui captent la lumière du soleil. Malgré sa distance de plus de 150 millions de kilomètres, le soleil reste notre principale source d'énergie, bien que son rayonnement soit intermittent.

Cette forme d'énergie est propre car elle ne produit aucun gaz à effet de serre et son principal élément, le soleil, est disponible partout dans le monde, gratuit et inépuisable. [1]

I.2. Transfert de l'énergie solaire

Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur et en électricité. [2]

I.2.1. L'énergie solaire thermique

Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être convertie en d'autres formes d'énergie utiles pour les activités humaines, telles que la chaleur et l'électricité.

L'énergie solaire thermique implique la conversion photo thermique, un processus simple qui transforme le rayonnement solaire en chaleur. Cette chaleur peut être utilisée de différentes manières :

- Directement pour le chauffage de l'eau, le chauffage des espaces, les cuisinières solaires et les séchoirs solaires. [3]
- Indirectement, où la chaleur est utilisée pour d'autres applications, comme dans les centrales solaires thermodynamiques et pour la production de froid solaire.

I.2.2. L'énergie solaire photo voltaïque

Il s'agit de la conversion de la lumière en électricité à l'aide de matériaux semi-conducteurs. [4]

La première cellule photovoltaïque, créée en 1914, avait un rendement de 1% et était utilisée pour les posemètres photographiques. Ce n'est qu'en 1954 que la production d'électricité à partir de l'effet photovoltaïque a commencé à se développer, avec la fabrication d'une première cellule en silicium monocristallin ayant un rendement de 6%. Ce rendement a rapidement augmenté pour atteindre 18% en laboratoire aujourd'hui.

Le matériau de base le plus couramment utilisé est le silicium, largement présent sur notre planète car il constitue environ 28% de l'écorce terrestre. Cependant, l'arséniure de gallium offre de meilleures performances mais reste beaucoup plus coûteux. [5]

I.2.3. L'énergie solaire thermodynamique

La solaire thermodynamique exploite l'énergie solaire thermique pour générer de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique conventionnelle, mais en utilisant des centrales héli thermo électriques.

Trois types principaux de centrales sont utilisés :

1. Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques qui atteignent des températures entre 300 et 350 °C.
2. Les centrales à capteurs paraboliques qui permettent d'atteindre des températures de 1000 °C ou plus.
3. Les centrales à tour qui visent à atteindre 1000 °C

I.3. L'application thermique de l'énergie solaire

Les possibilités d'utilisation de l'énergie solaire sont variées, allant de l'électrification à l'agriculture en passant par la climatisation, le chauffage, la production d'eau chaude solaire et le pompage solaire. [6]

I.3.1. L'électrification

Grâce aux panneaux solaires photovoltaïques, il est possible de produire de l'électricité, qui peut être utilisée de différentes manières :

- L'éclairage domestique : toutes les ampoules de votre maison peuvent fonctionner à l'énergie solaire. En utilisant des ampoules LED de 10 kWh, un panneau de 100 W pourrait vous permettre d'alimenter jusqu'à 10 ampoules chez vous.
- L'éclairage public, avec des lampadaires solaires.
- Les équipements électriques domestiques : vos panneaux produiront du courant continu. L'onduleur de votre installation le convertira en courant alternatif utilisable par tous vos appareils électriques : lave-linge, micro-ondes, télévisions, ventilateurs, climatiseurs, réfrigérateurs, etc.[7]

I.3.2. La climatisation

Les besoins en climatisation sont considérables au Sénégal. De avril à mi-juin, le besoin se fait sentir, et de mi-juin à mi-décembre, la vie devient quasiment impossible sans climatisation. Cependant, la climatisation est coûteuse. L'énergie solaire intervient ici pour réduire votre facture énergétique liée à la climatisation de manière significative, jusqu'à la diviser par trois.

L'énergie solaire peut être utilisée pour la climatisation de deux manières :

- Tout d'abord, en produisant de l'électricité qui peut être utilisée pour alimenter un climatiseur classique. Cette option n'est pas recommandée car elle est très coûteuse, le climatiseur étant généralement très énergivore (plus de 2000 kWh) et fonctionnant en courant alternatif qui nécessite une conversion par un onduleur de puissance conséquente.
- En utilisant directement des climatiseurs solaires : ces climatiseurs solaires ont généralement une meilleure efficacité énergétique (Coefficient SEER), ce qui leur permet d'avoir une consommation énergétique réelle de 600 kWh pour les modèles 12 000 BTU. [7]

I.3.3. Production d'eau chaude

Les capteurs solaires thermiques et les panneaux solaires aérovoltaïques exploitent l'énergie solaire pour chauffer de l'eau.

Cette eau peut servir à des usages sanitaires en étant dirigée vers un ballon d'eau chaude, ou à des fins de chauffage en étant acheminée vers des radiateurs ou un plancher chauffant.

Un chauffe-eau solaire peut répondre jusqu'à 100% des besoins en eau chaude d'un foyer. Cela est possible grâce aux températures élevées qui offrent un rendement optimal, et aussi parce que les besoins en eau chaude sont généralement limités. Ainsi, un chauffe-eau solaire de 150 litres est souvent suffisant pour la plupart des foyers.

Une autre utilisation est le chauffage des piscines. [8]

I.3.4. L'agriculture

L'énergie solaire présente de nombreuses applications dans le secteur de l'agriculture et de l'élevage :

- Elle peut être utilisée pour alimenter en électricité les champs et les domaines qui ne sont souvent pas connectés au réseau électrique. L'installation de panneaux solaires permet ainsi aux travailleurs ou résidents sur place d'utiliser leurs appareils électriques.
- Elle peut également servir au pompage de l'eau. Quelques panneaux solaires (sans batteries, régulateurs ni onduleurs) peuvent suffire pour faire fonctionner des pompes (DC) de surface ou immergées. L'eau pompée peut être stockée dans des réservoirs pour une utilisation ultérieure, dans des bassins surélevés pour l'irrigation par gravitation, ou déversée dans les abreuvoirs du bétail.

- Le courant produit peut également être utilisé pour électrifier les clôtures. [9]

I.4. Le chauffage solaire

Le chauffage représente un élément crucial pour garantir le confort thermique. Il existe diverses techniques, dont le choix dépend des sources d'énergie disponibles (gaz, fioul, électricité, charbon, soleil, etc.), des dimensions des pièces à chauffer, de leur exposition au soleil, du mode d'occupation et de l'état général du bâtiment, notamment de son isolation. Le chauffage consiste à transférer de l'énergie thermique à un élément, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue deux types de chauffage : l'un pour le confort thermique et l'autre à des fins industrielles. [9]

I.4.1. Différents systèmes de chauffage solaire

Il existe de nombreux systèmes de chauffage solaire classés comme suit:

a- Chauffage solaire par circulation d'air

Pour réchauffer l'air, il est possible de le faire circuler derrière des panneaux métalliques noirs placés dans des cadres vitrés installés sur le toit ou la terrasse d'un bâtiment. Ensuite, on peut effectuer du chauffage par air pulsé en faisant circuler l'air chaud à travers des canalisations. Diverses études, qu'elles soient expérimentales ou numériques, ont été menées pour améliorer ce type de chauffage solaire résidentiel. [9]

Les principaux axes d'amélioration comprennent :

a.1. Le procédé du professeur Trombe

En Union européenne, les recherches du professeur Félix Trombe ont conduit au développement d'un système de chauffage des habitations par air chaud, où le chauffage nocturne est assuré par la récupération de la chaleur emmagasinée durant la journée dans les murs qui agissent comme une masse thermique. Ce système passif est vraisemblablement l'un des plus répandus actuellement. Son principe de fonctionnement est très simple : un flux solaire passe à travers la ou les vitres, est absorbé par une paroi verticale intégrée à la structure du bâtiment. L'échauffement de l'air en contact avec cette paroi entraîne une circulation naturelle. L'air situé en bas de l'espace est aspiré par des ouvertures dans la partie inférieure du mur et revient vers la pièce par des ouvertures dans la partie supérieure. Ce système de chauffage peut continuer à fonctionner même après le coucher du soleil grâce au stockage partiel de la chaleur absorbée par le mur. [9]

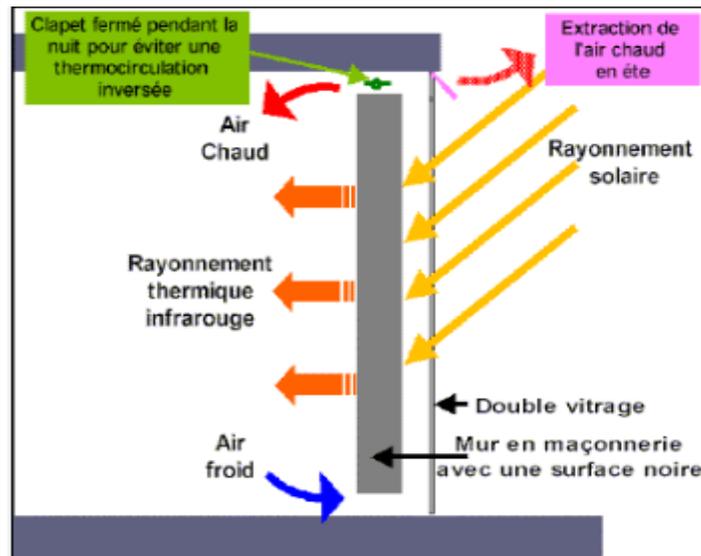


Figure I.1. Principe du mur trombe

a.2. Le procédé de Barra-Costantini (B-C)

À la suite des recherches menées par O.A. Barra et T. Costantini, un nouveau dispositif a été développé. Contrairement à de nombreux systèmes de chauffage solaire qui peuvent entraîner un inconfort thermique à l'intérieur des espaces à chauffer, ce système présente l'avantage d'agir comme un régulateur naturel en stockant la chaleur durant la journée pour la restituer le soir. Le système Barra-Costantini repose sur l'utilisation d'un capteur d'air avec un absorbeur positionné entre un mur et une vitre, permettant ainsi une double circulation naturelle. Pendant les journées d'hiver, l'air des deux côtés de l'absorbeur se réchauffe, remonte naturellement et entre dans des canaux situés dans le

Plafond. Une partie de la chaleur est absorbée par le plafond pour être restituée ultérieurement, tandis que l'autre partie est directement diffusée sous forme d'air chaud, contribuant ainsi à un chauffage immédiat de l'espace. [10]

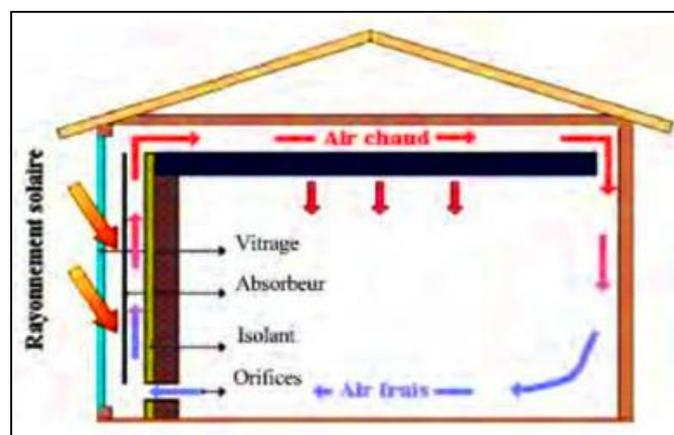


Figure I.2. Système Barra-Costantini (B-C)

b- Chauffage solaire par circulation d'eau chaude:

Un plancher chauffant est un système de chauffage intégré dans le sol, où des tubes contenant de l'eau, parfois avec un additif comme un fluide chauffant, sont encastrés dans le plancher. Une installation de chauffage par le sol comprend un plancher chauffant, des distributeurs et des équipements de régulation. Un plancher chauffant se compose des éléments suivants : une couche d'isolation thermique et acoustique, une couche de protection pour l'isolation, des tubes de chauffage disposés en sections planes, une couche de répartition et d'émission thermique (dalle), et un revêtement de sol.

Le support, qu'il soit en béton ou en d'autres matériaux, n'est pas considéré comme faisant partie intégrante du système de "plancher chauffant". Les panneaux chauffants sont classés en fonction du système porteur des planchers et de leur association avec ces derniers. La réglementation distingue deux types de systèmes de planchers chauffants à eau chaude : les planchers chauffants à eau chaude avec une dalle désolidarisée isolée et les planchers chauffants à eau chaude avec d'autres types de dalles que les dalles désolidarisées isolées.

On peut définir les dalles désolidarisées uniformes comme des dalles rendues indépendantes du plancher de support et des murs par l'interposition de matériaux de faible épaisseur.

Dalle pleine : Le plancher est formé par une dalle en béton armé d'épaisseur uniforme, qui peut être coulée en une seule fois ou en deux fois dans le cas d'un système de pré-dalle.

Plancher à dalles alvéolées : Ce type de plancher est composé d'éléments préfabriqués en béton précontraint appelés dalles alvéolées.

Dalle collaborante rapportée : Il s'agit d'une dalle en béton armé entièrement coulée sur la surface des dalles alvéolées.

Plancher nervuré : Ce plancher est constitué de poutrelles et d'entrevous (en béton, polystyrène, terre cuite, etc.) recevant une dalle de compression qui forme la partie supérieure comprimée du plancher.

Pré-dalle : Il s'agit d'une plaque préfabriquée en béton armé ou précontraint destinée à former la partie inférieure renforcée d'un plancher. L'épaisseur du béton complémentaire coulé sur place doit être au moins égale à celle de la pré-dalle.

Il existe trois types de structures de plancher chauffant :

- Avec tubes dans la dalle de type A et C : Les tubes chauffants sont entièrement ou partiellement intégrés dans la dalle.
- Avec tubes sous la dalle de type B : Les tubes chauffants sont placés dans la couche d'isolant thermique sous la dalle.

- Avec sections planes : Ce système implique une circulation parallèle ou croisée dans une section creuse installée sur toute la surface. [11]

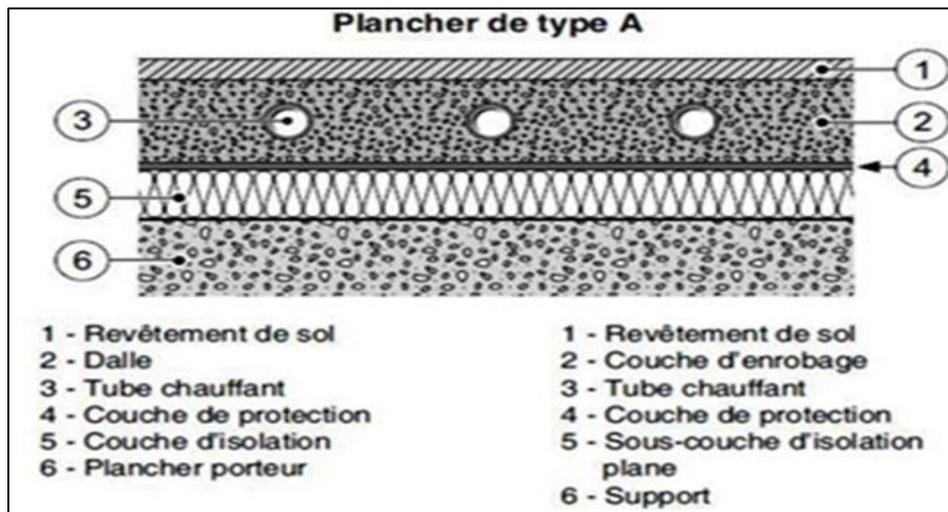


Figure I.3. Plancher de type A [13]

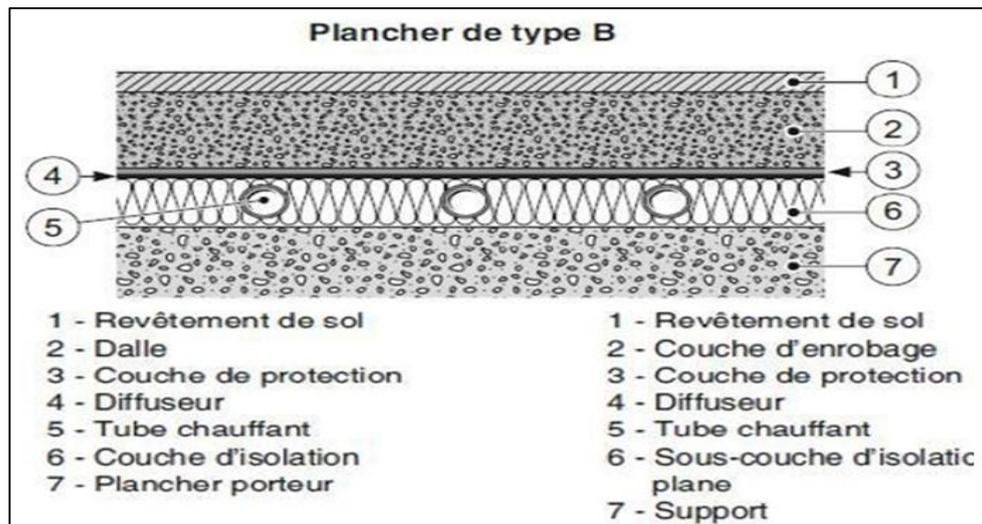


Figure I.4. Plancher de type B. [13]

c- Chauffage individuel et Chauffage collectif

Le chauffage individuel consiste à chauffer une pièce à l'aide d'un ou plusieurs appareils de chauffage installés. Ces appareils transforment l'énergie pour produire de la chaleur dans la pièce. Ce système permet de choisir le type d'énergie utilisé pour le chauffage (électricité, gaz, fioul, etc.) et de contrôler sa consommation en fonction des besoins, grâce à des systèmes de régulation sophistiqués.

Le chauffage collectif est un système écologique qui produit de la chaleur de manière centralisée. Cette chaleur est ensuite distribuée dans une zone définie pour assurer le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire à tous les utilisateurs.

Avantages du chauffage collectif :

- Réalisation d'économies liées au stockage et à l'achat du combustible nécessaire pour le chauffage.
- Optimisation de l'espace habitable grâce à une installation centralisée.

I.5. Système Solaire Combiné

I.5.1. chauffage solaire d'une maison par dalle chauffante

Comme tout système de chauffage central, un système solaire combiné se compose des éléments suivants :

- Des capteurs solaires thermiques, similaires à ceux utilisés pour un chauffe-eau solaire, agissant comme une "chaudière".
- Un réseau de tuyauteries pour la distribution, similaire à celui des systèmes classiques.
- Un ou plusieurs dispositifs de stockage de l'énergie thermique, tels qu'un ballon-tampon ou une dalle de béton.
- Des émetteurs de chaleur tels que des radiateurs basse température ou des dalles chauffantes.
- Un système de régulation.

Un système d'appoint peut être utilisé pour compenser les insuffisances de l'énergie solaire. Il peut être totalement indépendant du système solaire, comme une cheminée, un poêle à bois ou des convecteurs électriques. Il peut également être couplé à la partie solaire du système. Dans ce cas, la régulation peut contrôler la mise en marche et l'arrêt de l'appoint en fonction de l'ensoleillement, de la demande de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Une chaudière classique (fioul, gaz, bois, électrique) est alors utilisée.

Il existe deux principaux types de systèmes solaires combinés, avec des variantes permettant de s'adapter à la plupart des situations. [12]

I.5.2. Le Plancher Solaire Direct (PSD®):

Ce type de système solaire combiné est fréquemment installé en France de nos jours. Le principe est le suivant : un liquide caloporteur est chauffé par des capteurs solaires thermiques, puis circule dans des tuyaux d'un plancher chauffant ou réchauffe le ballon d'eau chaude sanitaire via un échangeur de chaleur. Après, il retourne vers les capteurs pour être à nouveau chauffé, et ainsi de suite tant que l'ensoleillement est adéquat. L'appoint peut être soit indépendant, soit couplé au système solaire.

Dans les deux cas, la dalle chauffante remplit un double rôle de stockage et d'émission de chaleur. Alimentée par le liquide caloporteur réchauffé (plancher chauffant à basse température) et bien isolée, elle permet d'assurer une température douce et uniforme dans toutes les pièces de la maison. [11]

I.5.3 Le Système A Hydro-Accumulateur

Comme le soleil n'est pas présent en permanence tout au long de la journée et de l'année, l'idée est de stocker la chaleur produite par les capteurs solaires dans un réservoir d'eau tampon, d'où l'on peut puiser lorsque nécessaire. L'énergie requise pour le chauffage est ensuite distribuée dans la maison par le biais de radiateurs, de préférence à basse température, ou par un plancher chauffant.

Les avancées, notamment en matière de régulation et de gestion du stockage de l'énergie dans les ballons, permettent aujourd'hui de concevoir des systèmes performants et compacts avec des volumes acceptables (de 500 à 2000 litres). dans la recherche. [6]

I.6. Les planchers chauffants

I.6.1. Définition

Le plancher chauffant est un système de chauffage des bâtiments par le sol qui permet de contrôler la température intérieure de l'espace à chauffer en utilisant des systèmes de contrôles basés sur les équations qui régissent les différents phénomènes de transfert de chaleur (convection, conduction et radiation) afin d'assurer un confort thermique pour les occupants.

En anglais, les planchers chauffants sont appelés « un derfloor radiant heating », ce qui se traduit littéralement par « plancher chauffant radiatif ». Ceci s'explique par le fait que le transfert de chaleur entre le plancher chauffant et l'ambiance se fait principalement par radiation. [12]

I.6.2. Histoire

L'origine du plancher chauffant remonte jusqu'au Néolithique (12 000 ans avant notre ère). En effet, des fouilles archéologiques menées en Corée et en Alaska révèlent que les premiers habitants de ces régions dirigeaient les fumées générées par un feu à travers des tranchées creusées sous leurs habitations. La fumée chaude chauffait les pierres du sol et la chaleur se diffusait ensuite dans l'espace de vie. De nos jours, on utilise des tuyaux à l'intérieur desquels circule un fluide chaud ou des résistances électriques placées en dessous de la chape.

I.6.3. Évolutions

De nos jours, le chauffage par le sol est désigné comme étant à « basse température » (environ 35 à 45 °C). La dalle en béton stocke et émet de la chaleur par rayonnement, créant ainsi une température ambiante ressentie dans l'habitat de 19 à 20 °C. Contrairement aux systèmes de chauffage traditionnels qui chauffent principalement l'air, le plancher chauffant ne chauffe que la matière, ce qui se révèle être économique, surtout pour les grands bâtiments. Cela permet d'éviter les problèmes de jambes lourdes. Il est recommandé que la température du sol ne dépasse pas 28 °C, correspondant à la température théorique de la voûte plantaire, afin de prévenir les maux de tête et de jambes. Dans ces installations modernes, la température de l'eau, le fluide caloporteur, est finement régulée selon une loi d'eau bien adaptée.

Le plancher chauffant peut être alimenté par diverses sources d'énergie telles que le solaire, la géothermie, le fioul, le gaz, l'électricité, etc. Ce mode de diffusion est particulièrement adapté aux systèmes de chauffage écologiques de nouvelle génération comme la géothermie et le chauffage solaire.

I.7. Principe de fonctionnement Plancher chauffant

Le chauffage au sol, également appelé plancher chauffant, est un système de chauffage par le sol disponible sur le marché depuis les années 60. Contrairement aux radiateurs traditionnels qui chauffent de manière ciblée dans les pièces où ils sont installés, le chauffage au

sol diffuse la chaleur de manière homogène sous nos pieds, sans assécher l'air ambiant des pièces du logement. Cela permet d'obtenir une température idéale dans l'ensemble du logement et d'éviter d'avoir les pieds froids. En outre, le chauffage au sol est considéré comme un "émetteur réparti" car la chaleur produite se répartit dans toutes les pièces sans stagner au plafond. Il est recommandé de ne pas dépasser une température de 28 degrés pour un confort thermique optimal. [13]



Figure I.5. Plancher chauffant (Le chauffage au sol)

Le fonctionnement du chauffage au sol est simple et son installation également. Le plancher chauffant utilise différents types d'énergie (eau, électricité, gaz, solaire...) pour fonctionner. Un réseau de tuyaux de chauffage (câbles électriques ou tubes hydrauliques) est installé sur une dalle en béton. Ce réseau est ensuite recouvert d'un isolant thermique puis d'une chape. La chape permet de diffuser la chaleur de manière uniforme dans le logement, agissant comme un diffuseur de chaleur. Vous pouvez choisir le revêtement de la chape en fonction de votre projet : parquet, carrelage, etc. [13]

I.8. Types de plancher chauffant

Il existe deux types de planchers chauffants, hydrauliques et électriques. Les deux types de planchers chauffants ont le même principe mais se différencient par leurs composants.

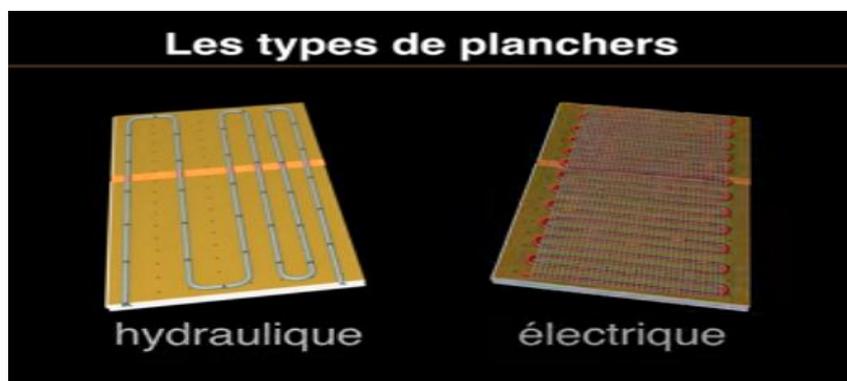


Figure I.6. Types de planchers chauffants

I.8.1. Plancher chauffant hydraulique

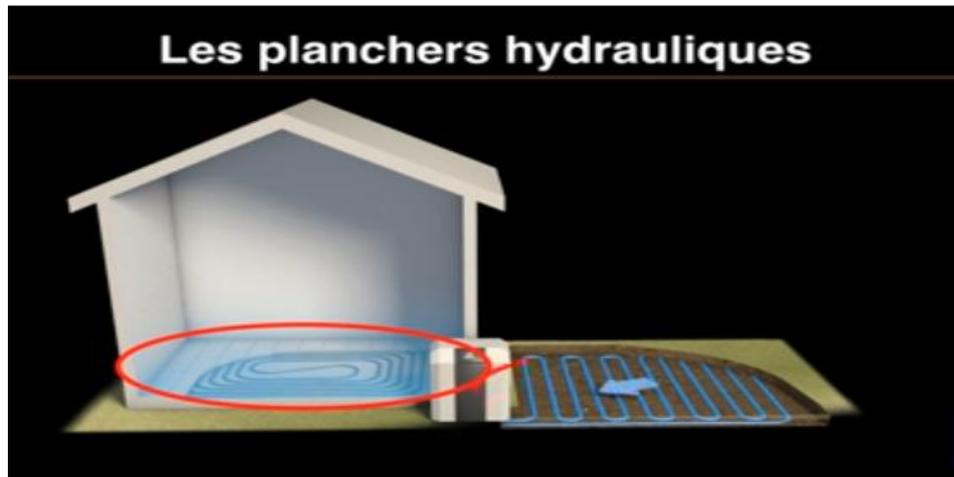


Figure I.7. Plancher chauffant hydraulique.

a. Principe de fonctionnement

Dans les planchers chauffants hydrauliques, un fluide caloporteur (de l'eau ou un mélange d'eau et d'antigel comme le propylène glycol) circule dans un réseau de tubes en forme de serpents. Ces boucles de tuyaux de chauffage sont installées sur un isolant et recouvertes d'une chape humide ou sèche. Le fluide caloporteur va ainsi transférer une quantité de chaleur à la chape par conduction à travers le tube. La chape à son tour transférera une certaine quantité de chaleur à l'ambiance par convection et par rayonnement. [15]



Figure I.8. Réseau de tubes d'un plancher chauffant hydraulique.

I.8.2. Plancher chauffant électrique

a. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du plancher chauffant électrique est simple : un câble chauffant est fixé sur toute la surface du sol, il est ensuite recouvert d'une chape et d'un revêtement de sol. Le plancher chauffant électrique, aussi appelé plancher rayonnant électrique, diffuse une chaleur homogène. [16]

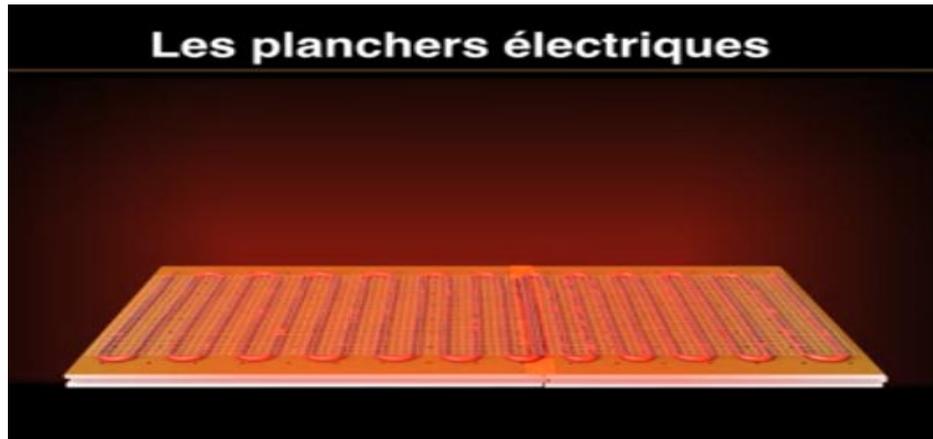


Figure I.9. Réseau de tubes d'un plancher chauffant électrique

I.9. Les différents composants d'un plancher chauffant

Un plancher chauffant est constitué des éléments suivants :

- **La dalle** : elle est généralement en béton armé coulée à même le sol, destinée à stabiliser le plancher bas de la construction juste au-dessus des fondations. Épaisse et assez grossière, la dalle sert de base au déploiement d'isolants et des réseaux d'électricité, eau et chauffage. Ils seront recouverts dans les pièces habitables de la construction.
- **Isolation thermique ou acoustique** : elle sert à réduire les transferts de chaleur des éléments chauffant vers la dalle
- **Éléments chauffants**: réseau de tube ou résistance électrique.
- **Chape** : une couche de mortier à base de ciment, de résine ou de chaux appliquée au sol, destinée à aplanir, niveler ou surfacer un support et/ou enrober des éléments (un plancher chauffant par exemple) pour en suite recevoir les couches supérieures par exemple du carrelage, un sol souple ou un parquet, flottant ou collé.
- **Revêtements au sol**: Carrelage, parquet, ardoise, granito, moquette,... etc.



Figure I.10. Composants d'un plancher chauffant hydraulique.

Remarque : hormis l'élément chauffant et le mode de production de la chaleur, tous les autres composants sont les mêmes pour un plancher chauffant électrique que pour plancher chauffant hydraulique.

I.10 Caractéristique de planche chauffant Le réseau de tube

Dans les plancher hydraulique modernes, le tube dans lequel circule le fluide caloporteur est fait généralement en dérivé de polyéthylène comme le PEX (polyéthylène réticulé), PEX-Al-PEX (un tube composite constitué d'une couche de PEX, d'une couche d'aluminium et d'une autre couche de PEX) et le PERT (Polyéthylène Raised Température pour le transport d'eau à haute température et haute pression). [16]

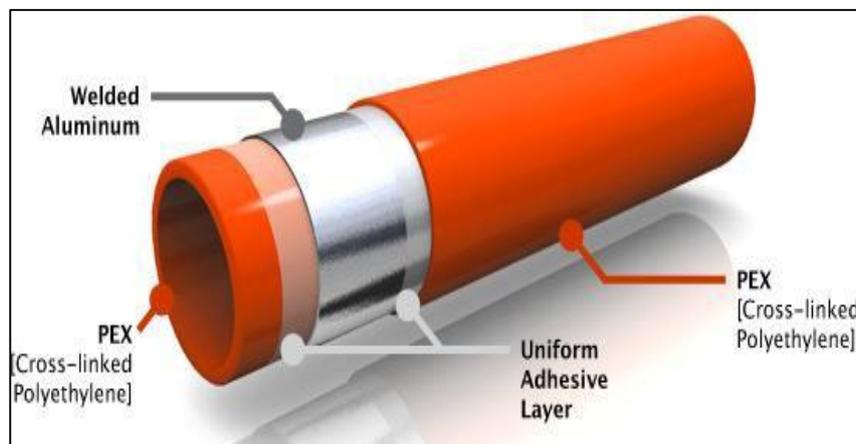


Figure I.11. Tube en PEX-Al-PEX

Actuellement, pour éviter la formation de boues, la plupart des réseaux de tubes de plancher chauffant hydraulique sont équipés d'une barrière anti-oxygène BAO (en anglais : Oxygen Barrier Layer).

En effet, toutes les installations de chauffage central, sont au fil du temps et dans des proportions variables, confrontées à cette problématique.

Les boues présentes dans les circuits de chauffage domestiques proviennent de la corrosion des divers éléments constitutifs de l'installation, tels que la tuyauterie, la chaudière, les émetteurs, les vannes, les circulateurs, etc.

Les réactions d'oxydation sont liées à la présence d'oxygène dans l'eau et sont favorisées par la porosité du polyéthylène. En effet, les tubes en polyéthylène (sans BAO) laissent pénétrer environ 5 mg d'oxygène par mètre linéaire et par jour. Sur une année, cela peut représenter une formation de boue jusqu'à 6,5 grammes par millilitre.

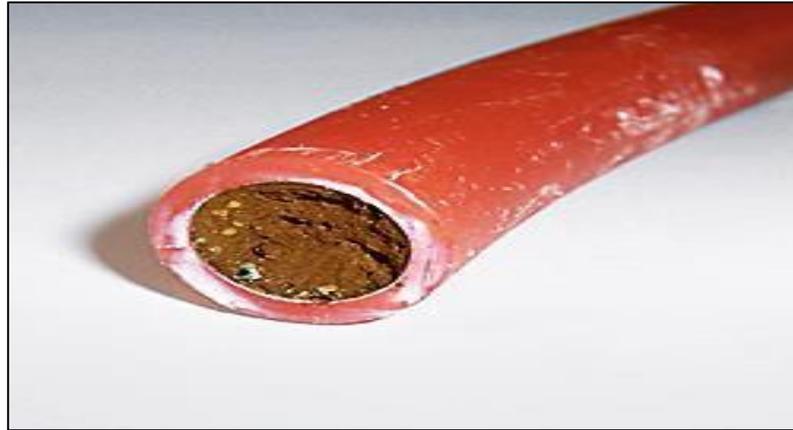


Figure I.12. Formation de boue dans un tube en Polyéthylène.

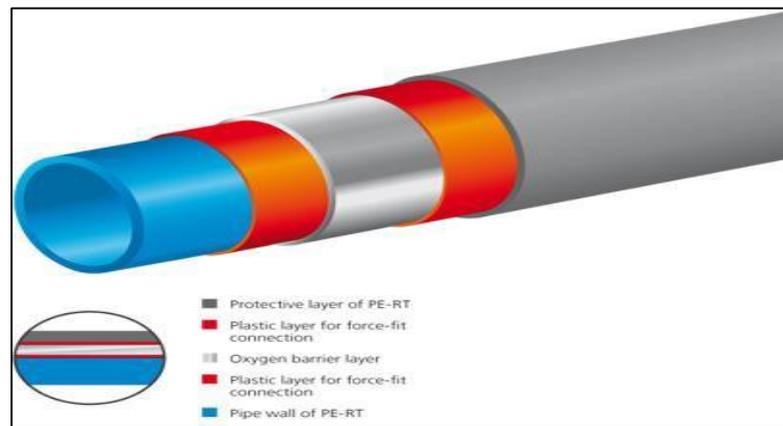


Figure I.13. Tube en PERT muni d'une barrière anti-oxygène.

b. La dalle:

La dalle est habituellement en béton armé coulée directement sur le sol, et elle vise à stabiliser le plancher bas de la construction juste au-dessus des fondations. Épaisse et robuste, la dalle constitue la base pour l'installation de l'isolation et des réseaux d'électricité, d'eau et de chauffage, qui seront ensuite recouverts dans les pièces habitables de la construction.

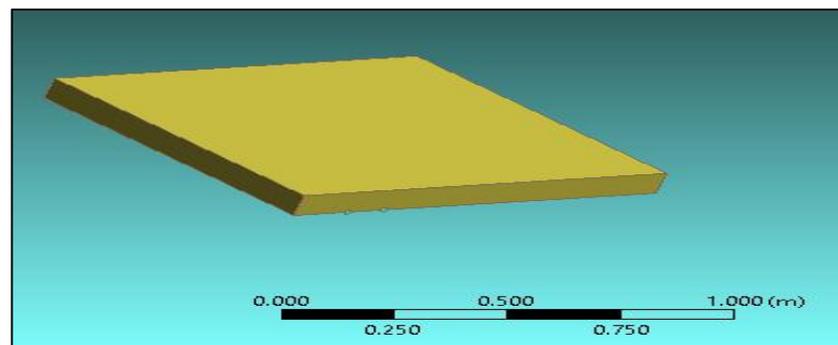


Figure I.14. Dalle de stabilisation d'un plancher chauffant.

c. La chape :

La chape peut être désignée par différents termes en fonction de la technique utilisée pour la couler. Cette technique, ainsi que les composants du béton de la chape, varient en fonction du type de revêtement de sol ultérieur ou de la présence de réseaux à intégrer sous la chape.



Figure I.15. La chape d'un plancher chauffant.

Les divers types de chape sont :

- **Chapes traditionnelles:**

Les « chapes traditionnelles » ou « chapes de carreleur » sont généralement constituées d'un mortier moyennement dosé en ciment et appliqué relativement sec.

Dans le contexte technique actuel, les "chapes minces", "chapes fluides", "chapes liquides" ou "chapes auto lissantes" sont mises en œuvre par pompage. Leur épaisseur moyenne est de 55 millimètres, le liant utilisé est l'anhydrite ou le ciment. Leur dosage en liant est très élevé et elles contiennent des adjuvants pour faciliter leur mise en place, souvent avec des propriétés

- **Chape de ravoilage:**

Il s'agit de la chape qui vient englober et recouvrir un réseau de plancher chauffant et/ou rafraîchissant (électrique ou à liquide). La chape de ravoilage doit posséder les qualités spécifiques à la circulation de la chaleur vers le revêtement de sol.

- **Chapes flottantes:**

Une chape est dite «flottante» lorsqu'elle est posée au-dessus d'une couche d'interposition. Soit un film plastique (polyane), soit un isolant thermique ou acoustique

- **Chapes de compression:**

Il s'agit d'une chape coulée sur des hourdis (structures horizontales constituant l'armature d'un plancher) et non sur une dalle. Une chape de compression peut servir de plancher bas sur vide sanitaire ou de plancher d'étage.

d. Isolation thermique entre l'élément chauffant et la dalle :

Les matériaux les plus courants pour l'isolation thermique dans un plancher chauffant sont les plastiques alvéolaires :

- Polystyrène expansé haute densité(PSE),
- Polystyrène extrudé(XPS),
- Mousse de polyuréthane rigide(PUR).

Sont également utilisés:

Les panneaux de laine minérale conformes aux normes NF B 20-001 et 20-109 (revêtement de sol en pose collé),

- Les panneaux plastifiés (solutions sols sec ou humides).

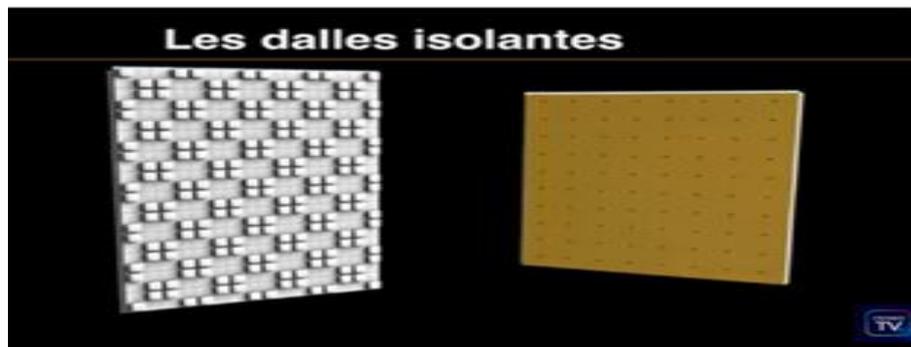


Figure I.16. Dalles isolantes de plancher chauffant.

I.11. Les avantages des planchers chauffants

- **Confort thermique :** les planchers chauffants offrent une température homogène dans tout l'espace de vie.
- **Amélioration de la qualité de l'air :**

L'installation d'un système de chauffage au sol donne la possibilité de choisir des revêtements de sol relativement froid tel que l'ardoise ou le granito, ces revêtements-là émettent de faibles quantités de composants organiques volatils en comparaison avec d'autres revêtements tels que le parquet ou le carrelage.

De plus, associé à un système de contrôle de l'humidité, le plancher chauffant permet de créer des conditions de température moins propices au développement des bactéries, des virus et des acariens.

- **Économie d'énergie:**

Étant donné quel est système de chauffage d'une planche réchauffant couvre une large surface, alors il peut opérer à une température plus basse que celle d'un système de chauffage par radiateur et sera ainsi plus économique. De plus, si le système utilise des dispositifs de chauffages propres (chauffe-eau solaire ou chauffage par géothermie pour les plancher chauffant hydraulique, et panneaux photovoltaïques pour les plancher chauffant électriques), alors le plancher chauffant pourra être à 100% autonome d'un point de vue énergétique. [15]

- **Écologie :**

Combiné avec des systèmes de chauffage propres, le chauffage par plancher chauffant aura l'avantages de n'emmètre aucun polluant.

I.12. Inconvénients des planchers chauffants

- L'in L'isolation thermique est coûteuse.
- La conductivité thermique des matériaux provoque un retard assez important lors de la mise en marche.
- L'accès au tube est complexe si des problèmes de maintenance surviennent.

Au fil du temps, l'anode est exposée au problème du colmatage par plusieurs facteurs, soit par l'eau transportant la poussière de la source, soit par le dépôt de sels, ce qui nécessite un entretien, et ceci est considéré comme un nerf pour nous, bien que les parties externes puissent être entretenues, telles qu'une pompe.

CHAPITRE II

Installation d'un plancher chauffant solaire

Chapitre II

Installation d'un plancher chauffant solaire

II.1. Le chauffage solaire

La chaleur emmagasinée par le fluide (eau antigel) est exploitée pour chauffer la maison, ce qui en fait un système de chauffage solaire à eau chaude. Dans ce type de système, la chaleur peut être diffusée par des radiateurs ou par le sol, cette dernière méthode étant la plus répandue. Dans ce dispositif, le fluide transfère sa chaleur à la dalle, qui à son tour transmet la chaleur reçue du fluide à l'air ambiant de la maison. Ainsi, la dalle joue le rôle d'intermédiaire entre le fluide et l'air. [17]

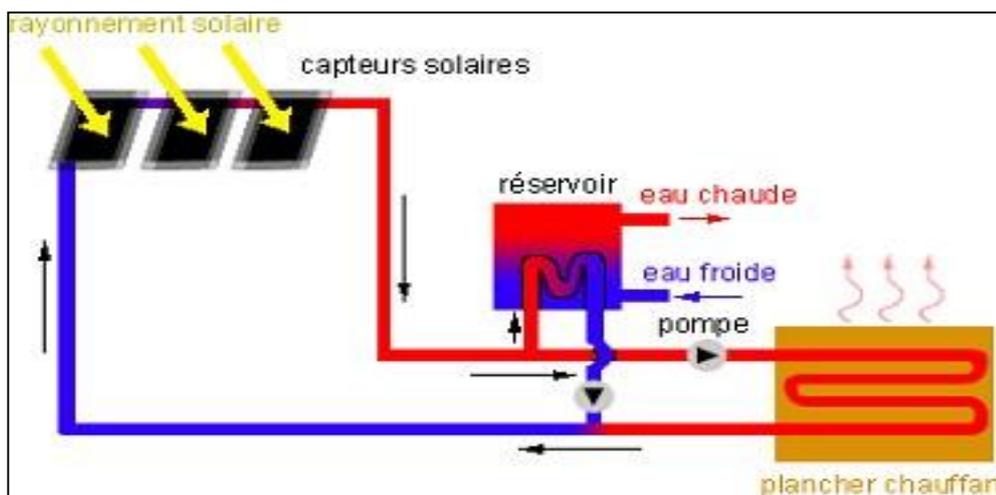


Figure II.1. Schéma d'une installation destinée pour le chauffage des maisons

Le réservoir d'eau chaude remplit deux fonctions principales :

- Il peut être utilisé la nuit pour chauffer la dalle de la maison, car le fluide ne peut pas être chauffé par les capteurs solaires pendant cette période. Par conséquent, une réserve de chaleur est essentielle pour le chauffage central, ou une chaudière traditionnelle peut être utilisée.
- Il peut également servir de chauffe-eau pour fournir de l'eau chaude sanitaire de manière pratique et efficace. [17]

II.2. Principe de fonctionnement

L'objectif est de transmettre la chaleur des capteurs solaires vers des radiateurs à grande surface ou un plancher chauffant (pour les nouvelles constructions), afin de chauffer les espaces sans recourir à une source de chaleur supplémentaire, étant donné que les besoins en chauffage ne sont jamais entièrement satisfaits à 100 %.

II.2.1. Types d'installations de chauffage

La première méthode consiste à utiliser un réservoir tampon solaire de taille variable, qui maintient le bâtiment chauffé même lors de périodes de faible ensoleillement consécutives. De nos jours, il est courant de trouver un unique réservoir de stockage combiné, ce qui réduit l'encombrement et simplifie la construction ainsi que la régulation de ces systèmes. Dans le domaine résidentiel, le système de chauffage solaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire d'une habitation est désigné par l'acronyme SSC (Système Solaire Combiné).

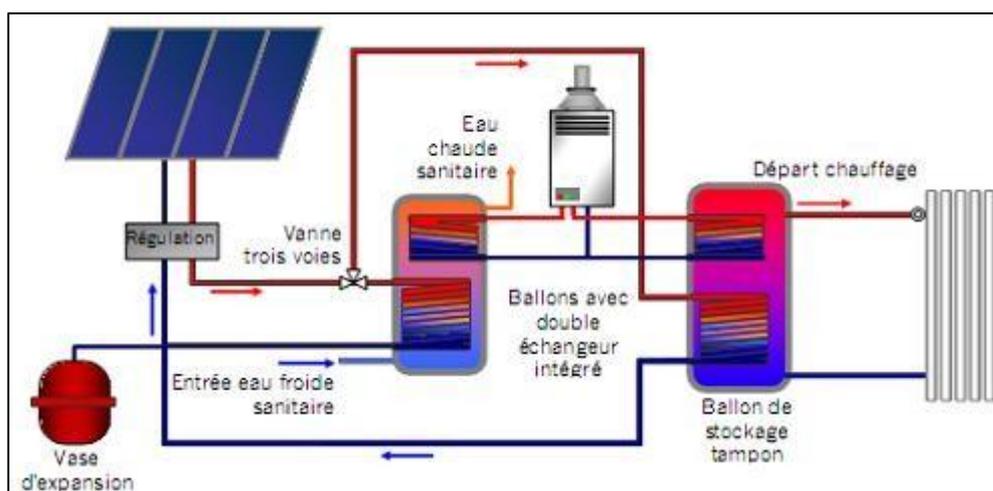


Figure II.2. Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon.

Avantages :

- Système de chauffage solaire automatique avec une énergie d'appoint assurant automatiquement le complément du réservoir.
- Possibilité d'installer un plancher chauffant et/ou des radiateurs à basse température.
- Économies d'énergie et d'argent plus importantes par rapport au chauffe-eau solaire individuel (CESI).

Inconvénients :

- Système plus complexe que le plancher solaire direct en termes de régulation et de stockage. Coût plus élevé que le Plancher Solaire Direct (PSD).

- Nécessite un espace suffisant pour le réservoir de stockage (minimum 500 litres).
- La deuxième installation implique le passage direct du fluide caloporteur des capteurs solaires dans un circuit de tuyaux intégrés dans une dalle en béton. L'inertie de cette dalle, d'une épaisseur de 10 à 15 cm, permet de restituer l'énergie accumulée pendant la journée en soirée.

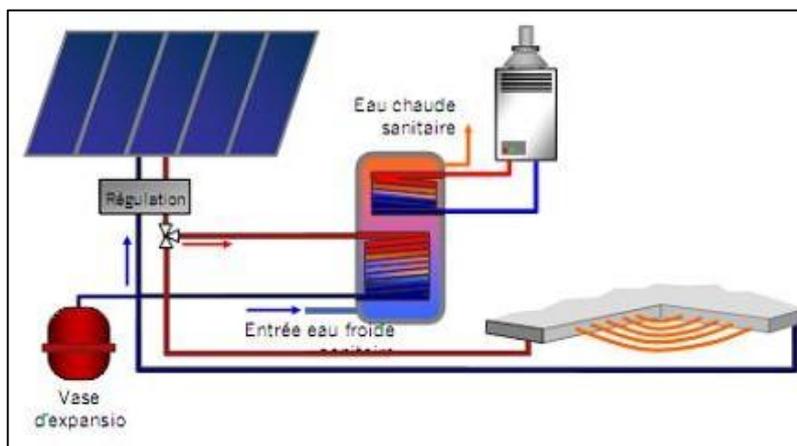


Figure II.3. Système de chauffage solaire par le Plancher Solaire Direct.

L'apport supplémentaire peut être intégré au système solaire, où le plancher chauffant ou les radiateurs diffusent la chaleur provenant d'une résistance électrique, d'une chaudière à gaz ou au fioul.

Les avantages :

- Confort thermique : le sol agissant comme un radiateur diffuse la chaleur de manière uniforme dans toute la maison pour un confort optimal.
- Réduction de l'encombrement, car le stockage solaire pour le chauffage est intégré au plancher.
- Inertie thermique : la chaleur emmagasinée dans la dalle en béton durant la journée continue d'être diffusée pendant la nuit.
- Système de chauffage solaire simple permettant de réduire de moitié la facture de chauffage.
- Moins coûteux que le système solaire combiné.

Les inconvénients :

Ce système solaire nécessite un revêtement de sol adapté comme du parquet ou du carrelage, la moquette n'étant pas recommandée.

II.3. Choix du plancher chauffant

a. Disposition optimale du réseau de tube :

En 2010, un scientifique nommé Robert Bean a mené une étude comparative entre trois configurations possibles du réseau de tubes d'un plancher chauffant hydraulique. Le

comportement thermique du plancher chauffant pour chaque type de configuration a été simulé par Robert Bean à l'aide d'un logiciel de CFD, les résultats obtenus sont résumés dans la figure suivante (fig II.04). [18]

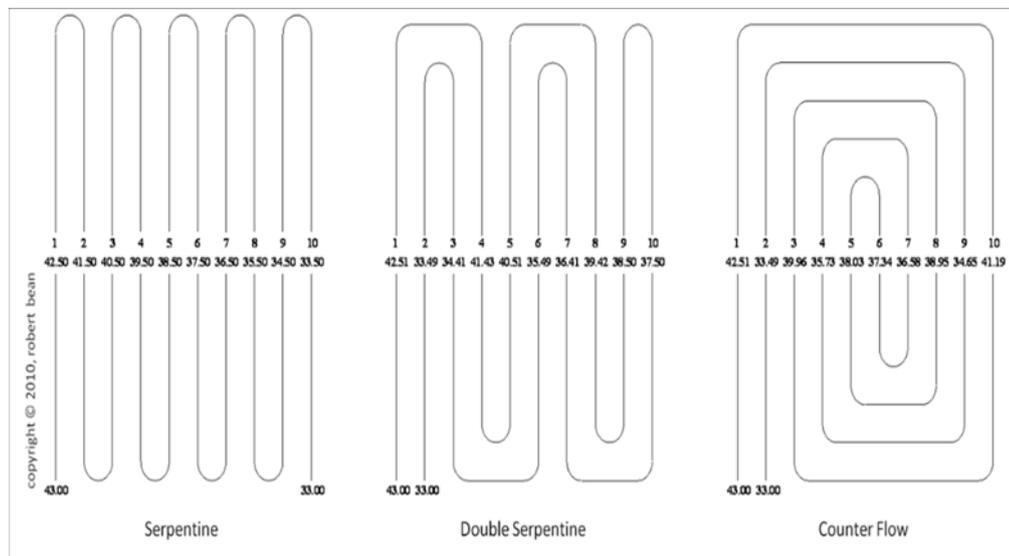


Figure II.4. Configurations possibles pour la disposition du réseau de tube.

b. Analyse des résultats de la simulation:

L'étude réalisée par Robert Bean démontre que:

Pour une disposition du tube en forme de serpent (schéma du haut sur la figure 12), la température du plancher à l'extrémité gauche (la zone qui correspond à l'entrée de l'eau) est plus élevée que la température à l'extrémité droite du plancher (zone qui correspond à la sortie de l'eau). Ceci est dû à l'échange de chaleur entre l'eau chaude qui circule dans les tubes et la chape, ainsi le fluide se refroidit en circulant dans le tube. Par conséquent, la température en surface du plancher sera plus élevée à l'extrémité gauche qu'à l'extrémité de droite, et donc la répartition de la température pour une telle configuration sera non uniforme.

Pour une disposition du tube en forme de double serpent (fig II.05).

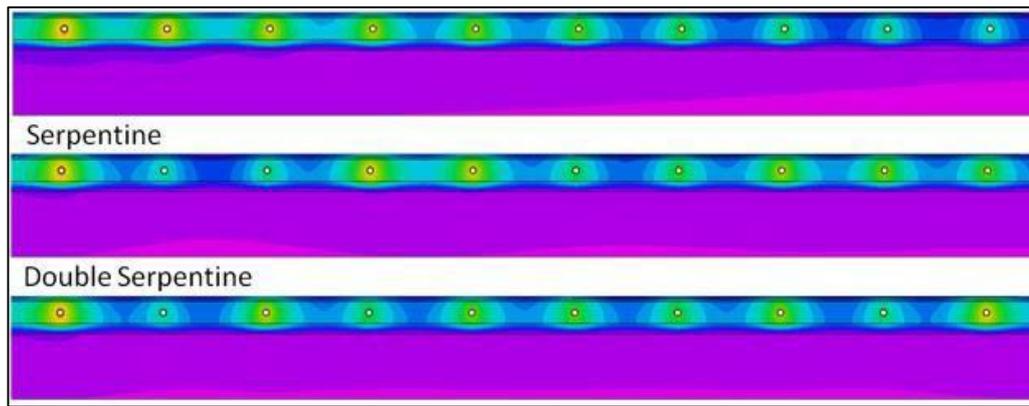


Figure II.5. Distribution de la température pour les 3 configurations.

Nous avons une alternance entre deux tubes chauds et deux tubes froids. Cette configuration permet d'obtenir une meilleure répartition de la température que dans le cas d'un serpentin simple. Cependant, on observe que la température en surface reste inégale, avec des zones froides suivies de zones chaudes et vice versa.

Pour une disposition en contre-courant, nous aurons une alternance entre un tube chaud et un tube froid, ce qui permettra d'obtenir une température régulière et uniforme sur toute la surface du plancher.

Ainsi, les résultats de l'étude menée par Robert Bean montrent que la meilleure configuration pour la disposition du tube dans un plancher chauffant hydraulique est celle de la disposition en contre-courant, c'est d'ailleurs la raison pour laquelle tous les plancher chauffant hydraulique modernes utilise cette configuration-là.

II.4. Capteurs solaires

L'énergie solaire (rayonnement) est captée par la surface absorbante du capteur solaire.

Dans de nombreux types de capteurs, des revêtements sélectifs sont appliqués sur les surfaces absorbantes pour en augmenter l'efficacité.

Un fluide caloporteur absorbe l'énergie captée.

Il existe différents types de capteurs solaires pour chauffer des liquides. Leur choix dépend de la température désirée de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Les technologies les plus courantes sont : les capteurs plans à liquide sans vitrage, les capteurs à liquide plans vitrés et les capteurs solaires à tubes sous vide. [19]

II.4.1. Etude énergétique sur le capteur

II.4.1.1. Bilan thermique d'un capteur

La puissance utile QU est celle qui permet de réchauffer le débit de fluide caloporteur m de la température d'entrée TEF jusqu'à la température de sortie TEC

$$QU = m \cdot CP(TEC - TEF)$$

L'énergie solaire Q absorbée par un capteur. Une partie de l'énergie solaire absorbée sera emmagasinée dans le fluide caloporteur ; c'est l'énergie utile QU et l'autre partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie notée Q_{pertes} donc on a :

$$Q = QU + Q_{pertes}$$

II.4.2. Capteurs plans sans vitrage

Les capteurs plans sans vitrage, tels que celui montré à la figure, sont ordinairement fait de plastique polymère noir. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière.

Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût captent bien l'énergie solaire, cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux. En conséquence, les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour des applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscines, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.); dans les climats froids, ils sont habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées.

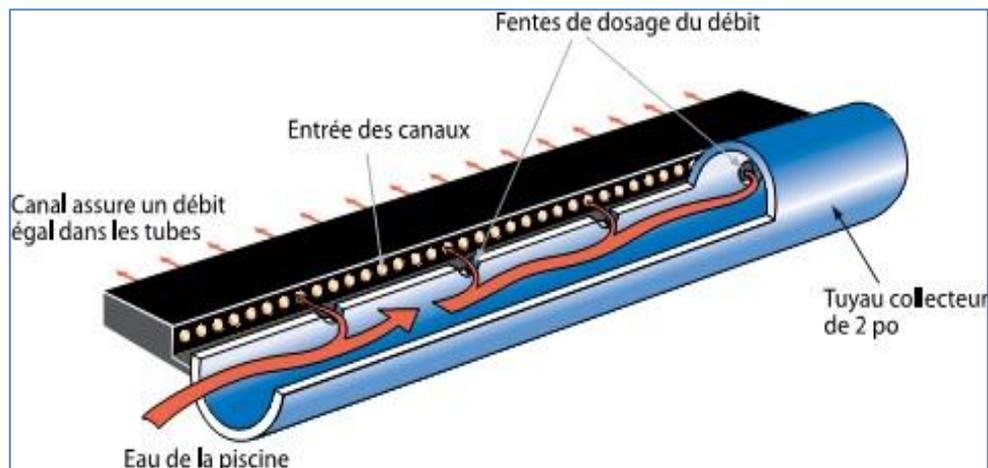


Figure II.6. Capteurs plans sans vitrage.

II.4.3. Capteurs plans avec vitrage

Dans les capteurs à liquide plans avec vitrage, comme montré à la figure, une plaque absorbante (qui souvent est recouverte d'un revêtement sélectif) est fixée dans un cadre entre un vitrage simple ou double et un panneau isolant placé à l'arrière.

L'énergie solaire est ainsi emprisonnée dans le capteur à cause du vitrage (effet de serre). Ces capteurs sont couramment utilisés pour des applications à températures modérées (chauffage

de l'eau sanitaire, chauffage de locaux, chauffage de piscines intérieures ouvertes toute l'année et chauffage pour procédés industriels).

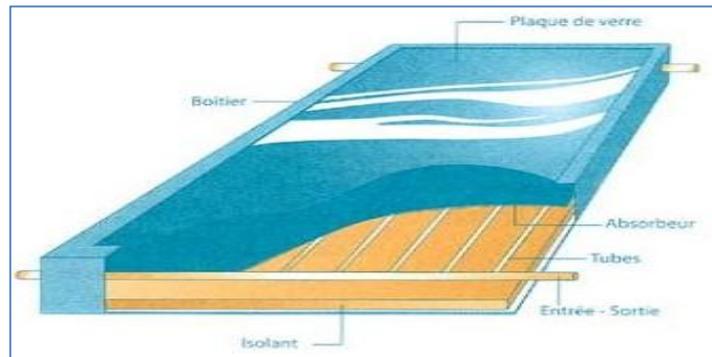


Figure II.7. Capteurs plans avec vitrage.

1. Capteurs solaires à tubes sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide, comme montré à la figure, comportent un absorbeur revêtu d'une surface sélective et enfermé sous vide dans un tube en verre. Ils captent bien l'énergie solaire et leurs pertes thermiques vers l'environnement sont extrêmement faibles.

Les systèmes présentement sur le marché utilisent un caloduc pour extraire la chaleur de l'absorbeur (un liquide se vaporise au contact de l'absorbeur chaud, la chaleur est récupérée dans la tête du tube lorsque la vapeur s'y condense et le condensat, retourne par gravité à l'absorbeur).

[20]

Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60 °C à 80 °C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids.

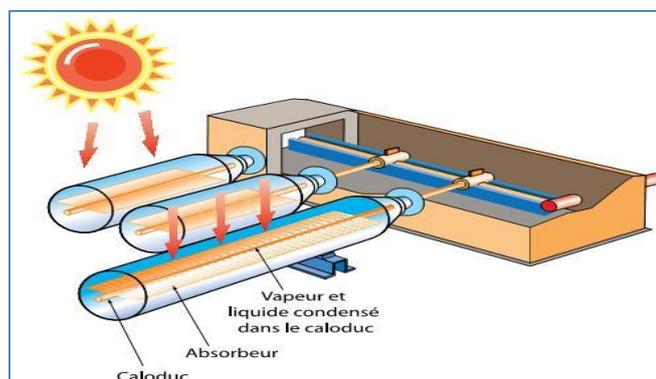


Figure II.8. Capteurs solaires à tubes sous vide

2. Le capteur à concentration fixe:

Ces capteurs sont du même type que les capteurs plans, mais ils concentrent les rayons du soleil sur les absorbeurs à l'aide de réflecteurs disposés en sous face. Ces capteurs sont très efficaces lorsque l'ensoleillement direct est très fort, mais perdent rapidement en efficacité lors des ensoleillements moindres, ou lorsque le fluide monte en température. Ils sont généralement prévus pour la production d'eau chaude.

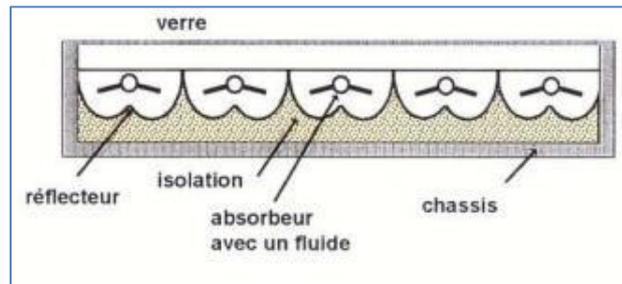


Figure II.9. Les capteurs à concentration fixes

II.5. Principes de fonctionnement

Un capteur solaire plat se compose principalement d'une surface absorbante exposée au rayonnement solaire, qui échange de la chaleur avec un fluide caloporteur en absorbant les calories produites par le rayonnement incident, et émet un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde en se réchauffant (Loi de Stefan-Boltzmann). Lorsque cet absorbeur est en contact direct avec l'air ambiant, en plus des pertes par rayonnement, les pertes par convection peuvent être significatives. Un équilibre thermique s'établit alors entre l'absorbeur et l'environnement.

Pour minimiser les pertes par la face arrière du capteur, l'absorbeur est placé à l'intérieur d'un coffre dont les parois internes sont isolées thermiquement (avec de la laine de verre ou de la mousse synthétique, par exemple). L'isolation thermique de la face avant est assurée en interposant un matériau opaque au rayonnement thermique mais transparent au rayonnement solaire entre l'absorbeur et l'air. [21]

Les verres et certains matériaux synthétiques sont transparents au rayonnement solaire et opaques au rayonnement infrarouge lointain, ce qui les rend adaptés en tant que couvertures transparentes pour les capteurs solaires. Dans un capteur équipé d'une couverture transparente, le rayonnement thermique émis par l'absorbeur est absorbé par la couverture transparente qui se

réchauffe et rayonne à son tour des deux côtés. Une partie du rayonnement se disperse dans l'air extérieur et l'autre est réémise vers l'absorbeur, créant ainsi un effet de serre.

Les couvertures servent également à limiter les pertes par convection, car les échanges thermiques entre deux plaques séparées par une lame d'air immobile se font principalement par conduction, l'air immobile étant un bon isolant thermique. Cet effet d'isolation augmente avec l'épaisseur de la lame d'air jusqu'à ce que le transfert devienne principalement conductif (2 à 3 cm d'épaisseur). Au-delà, les effets de la convection naturelle viennent contrecarrer l'effet recherché.

Une autre méthode pour réduire les pertes du capteur est l'application d'un revêtement sélectif sur la surface de l'absorbeur, présentant un coefficient d'absorption optimal pour les longueurs d'onde du spectre solaire (inférieures à 2,5 μm) tout en ayant une émissivité minimale dans le domaine de l'infrarouge correspondant au rayonnement de l'absorbeur (longueurs d'onde supérieures à 2,5 μm). Ces revêtements sélectifs sont généralement réalisés par dépôt chimique ou traitement électrochimique de la surface absorbante.

En général, ces capteurs sont vendus en blocs de 1 m² ou 2 m², et plusieurs de ces capteurs sont assemblés pour obtenir les surfaces nécessaires. [22]

II.6. Les type des Pompes utilisées

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales:

- **Les pompes centrifuges** : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiquée par la force centrifuge.
- **Les pompes volumétriques** : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

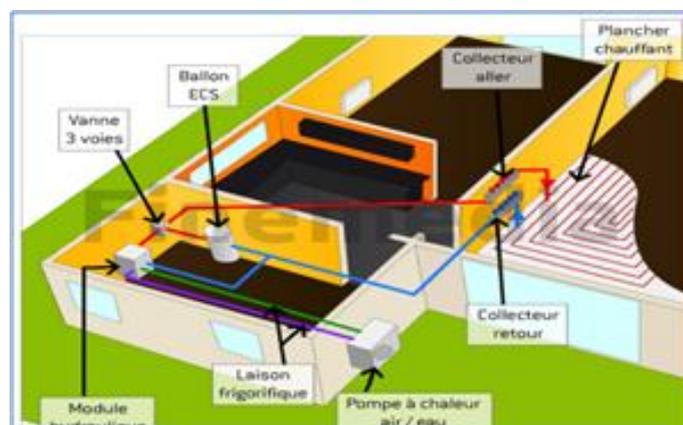


Figure II.10. Système de chauffage solaire.

Dans le cas du chauffage utilisant un liquide caloporteur pour le transfert de la chaleur l'utilisation d'une **pompe centrifuge** pour forcer l'écoulement sera le choix le plus judicieux à cause de la viscosité du caloporteur et le cout relativement faible de ces pompes. [23]

III.6.1. Les pompes centrifuges

III.6.1.1. Principe de fonctionnement

Une pompe centrifuge est constituée par:

Une roue à aubes tournant autour de son axe

Un distributeur dans l'axe de la roue

Un collecteur de section croissante, en forme spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie. [23]

III.6.1.2. Utilisation

Ce sont les pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas:

- Utilisation de liquides visqueux : la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquide alimentaire tel que le vin, le lait et la bière).
- Utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantané risque d'entraîner la pompe en dehors de ces caractéristiques optimales.
- Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides . [23]

II.7. Les panneaux solaires

L'énergie solaire devient rapidement une option attrayante et une source d'énergie importante pour l'alimentation des maisons et des entreprises à travers le monde. Avec la popularité croissante de l'énergie solaire, il existe une variété croissante de types de panneaux

solaires disponibles, allant du monocristallin au polycristallin, en passant par les films minces, et bien d'autres. Il y a une grande diversité de panneaux solaires qui peuvent répondre à divers besoins. 6nergies vous guide pour faire le bon choix parmi les différents types de panneaux solaires. [24]

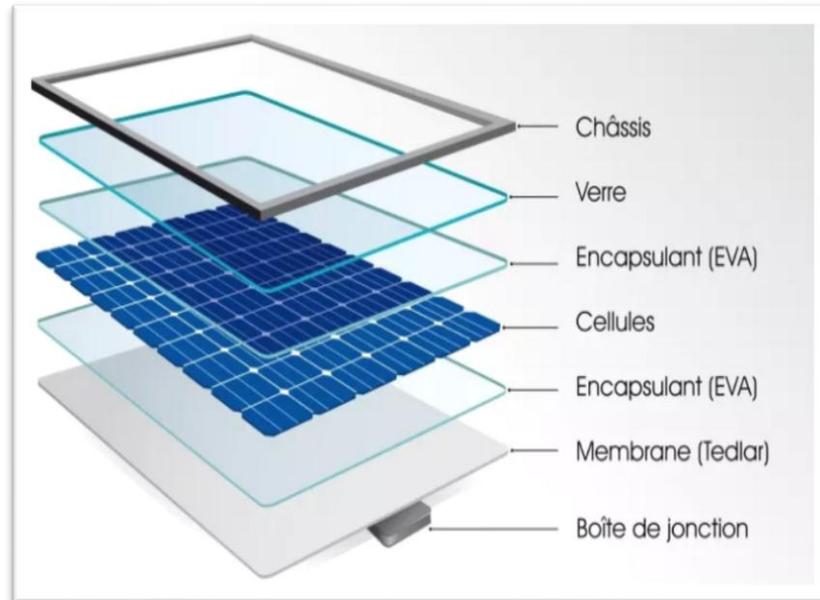


Figure II.11. Les panneaux solaires

II.7.1. Choix des panneaux solaires

Lorsqu'il s'agit de choisir le bon type de panneau solaire pour votre maison, plusieurs critères doivent être pris en compte :

Efficacité énergétique : Il est recommandé de rechercher un panneau avec une haute efficacité énergétique. Cela indique la quantité d'énergie produite par le panneau par rapport à celle qu'il consomme. Une efficacité élevée signifie une production d'énergie plus importante par watt d'énergie consommée.

Durabilité : Le matériau doit être capable de résister aux conditions météorologiques extrêmes et ne doit pas être facilement endommagé par la grêle, le vent ou la neige.

Exigences d'installation : certains panneaux nécessitent une installation professionnelle, tandis que d'autres sont conçus pour une installation en bricolage.

Coût : Il est recommandé de comparer les coûts des différents panneaux pour déterminer celui offrant le meilleur rapport qualité- prix.

II.7.2. Principe de fonctionnement et utilisations

Les panneaux solaires photovoltaïques offrent une manière d'exploiter l'énergie solaire pour alimenter une maison, un bâtiment ou un commerce. Leur fonctionnement repose sur l'effet

photovoltaïque, un phénomène découvert par le Français Edmond Becquerel en 1839. Lorsque la lumière du soleil frappe un matériau doté de propriétés de semi-conducteur, elle est convertie en électricité. Ce matériau absorbe les photons de la lumière solaire, libérant des électrons qui sont ensuite utilisés pour produire de l'électricité.

Les panneaux solaires photovoltaïques ont diverses applications. La plus répandue est la production d'électricité, notamment dans les zones rurales pour fournir de l'énergie aux communautés non raccordées au réseau électrique. Ils servent également à la production d'eau chaude et aux systèmes de stockage d'énergie thermique solaire. [24]

II.7.3. Les Panneaux Solaires Thermiques

II.7.3.1. Fonctionnement Et Utilisations

Les panneaux solaires thermiques exploitent le rayonnement solaire pour produire de la chaleur. Ils sont couramment utilisés pour chauffer de l'eau, pour le chauffage des bâtiments et même pour la production d'électricité.

Ces panneaux thermiques sont composés de tubes et de capteurs qui captent la lumière du soleil et la transforment en énergie thermique. Ils sont généralement installés sur les toits des bâtiments ou sur des surfaces planes en extérieur. Lorsqu'ils sont exposés au soleil, les capteurs absorbent l'énergie solaire et la transmettent à un fluide caloporteur qui transporte la chaleur vers diverses utilisations telles que le chauffage de l'eau, le stockage thermique, les piscines et les processus industriels. [24]

II.8. Le Ballon Tampon

Le ballon tampon est un système d'hydro-accumulation pratique et économique. Les ménages investissent dans cet équipement pour éviter les gaspillages et optimiser la productivité de leur chaudière en récupérant le surplus d'énergie qu'elle produit. Le ballon tampon peut compléter un système de chauffage central ou être intégré directement, comme c'est le cas pour certaines pompes à chaleur. Son utilisation permet de préserver l'équipement en limitant ses cycles de fonctionnement. Par exemple, une pompe à chaleur ne sera activée que pour chauffer l'eau du ballon, ce qui réduit sa fréquence de démarrage. [25]

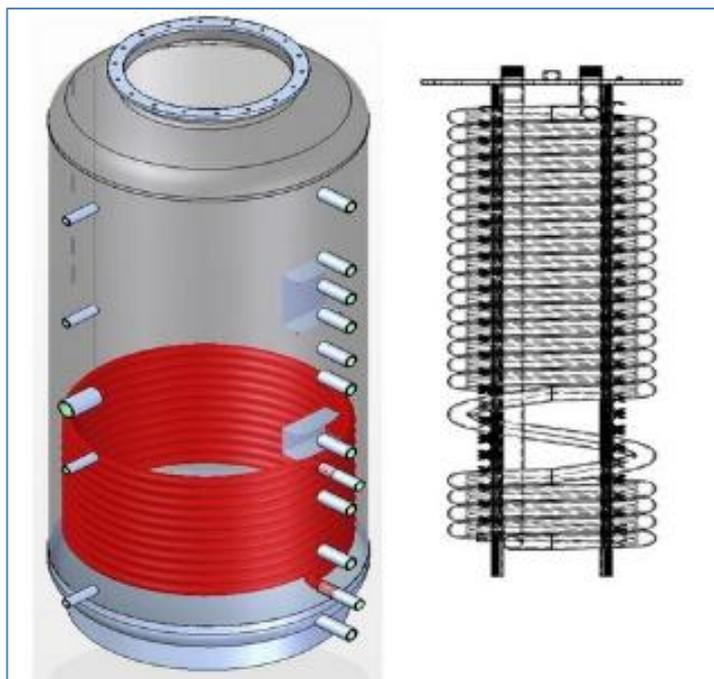


Figure II.12. Le ballon tampon

L'installation d'un ballon tampon est essentielle pour les systèmes de chauffage au bois ou solaires afin de réguler la chaleur émise dans le logement, car leur production de chaleur n'est pas constante ni uniforme. En résumé, l'eau du ballon est chauffée par la chaudière et les calories sont ensuite redistribuées dans le logement.

II.8.1. Fonctionnement et critères de choix

Le fonctionnement du ballon tampon est simple. Il est constitué d'une cuve isolée pour limiter les pertes de chaleur, ainsi que d'un serpentin permettant l'échange de chaleur entre l'eau contenue dans la cuve et le système de chauffage ou l'eau sanitaire. Lorsque la chaudière fonctionne à l'énergie solaire, un second serpentin est utilisé. Le liquide caloporteur circulant dans ce circuit récupère la chaleur des panneaux solaires pour la transmettre à l'eau du ballon. Dans le cas où le ballon tampon possède deux serpentins, l'eau située dans la partie supérieure se réchauffe rapidement pour accélérer la production d'eau chaude sanitaire et atteindre rapidement la température souhaitée pour le chauffage.

En général, le choix du ballon tampon dépend de plusieurs critères :

- Le type et la puissance du système de chauffage
- La superficie à chauffer : un système puissant convient pour une grande surface, et inversement
- Le niveau d'isolation du logement : une mauvaise isolation nécessitera plus de chauffage
- La taille du logement : les besoins en chauffage augmentent avec la taille de l'habitation

- Le nombre d'occupants : plus il y a de personnes, plus la consommation d'eau chaude sanitaire sera importante, nécessitant un ballon adapté
- La localisation du logement : les besoins en chauffage varient selon la durée des périodes de grand froid, plus longues dans certaines régions. [25]

II.8.2. Les différents types de ballon tampon

Il existe divers modèles de ballons tampons disponibles sur le marché. Pour choisir celui qui convient le mieux à vos besoins, il est essentiel de comprendre les caractéristiques de chacun d'entre eux.

Trois types de ballons tampons sont couramment disponibles :

Le ballon tampon simple : il vise à optimiser les performances du système de chauffage en exploitant les calories excédentaires.

Le ballon tampon avec production d'eau chaude sanitaire (ECS) : il combine un ballon tampon simple avec un système de préparation d'eau chaude sanitaire.

Le ballon tampon solaire : ce modèle est équipé d'un second serpentin qui agit en tant qu'échangeur thermique. [25]

II.8.3. Les principaux avantages et inconvénients

Le ballon tampon présente de nombreux avantages et très peu d'inconvénients. Voici quelques exemples:

- Le ballon tampon permet principalement des économies d'énergie, car toute la chaleur excédentaire produite par la chaudière est conservée.
- Il contribue à homogénéiser le rendement d'une chaudière à bois, solaire ou d'une pompe à chaleur. Ces appareils peuvent avoir des variations de productivité, mais le chauffage reste constant avec l'utilisation du ballon tampon.
- Sa présence permet de chauffer en demi-saison sans nécessiter le démarrage du chauffage, ce qui contribue à prolonger la durée de vie de la chaudière.
- Il nécessite un peu d'entretien.

Le seul inconvénient du ballon tampon est son encombrement, car il doit être installé dans une pièce spacieuse.

II.9. Le Chauffage D'appoint

Le chauffage solaire seul ne peut pas garantir le chauffage d'une maison équipée d'une dalle chauffante lors des journées sans soleil et très froides. C'est pourquoi il est nécessaire d'installer un deuxième système de chauffage pour compenser le manque de chaleur lors de ces jours-là.

II.9.1. Les différents dispositifs de chauffage d'appoint

- Le chauffage au gaz (gaz naturel, propane).
- Le chauffage par pompe à chaleur.
- Le chauffage au fioul.

CHAPITRE III

Implémentation d'ANSYS Fluent

Chapitre III :

Implémentation d'ANSYS Fluent

III.1. Introduction

La science s'est développée dans différents domaines, et l'ingénieur ou l'innovateur peut désormais préparer des simulations pour tout projet qu'il souhaite mettre en œuvre facilement grâce à des simulations qui permettent de gagner du temps et de l'argent. Compte tenu de cette évolution, nous avons utilisé le logiciel ANSYS dans notre étude pour modéliser le comportement thermique du système de chauffage par le sol, en étudiant deux cas différents présentant les mêmes caractéristiques en termes d'espacement et de longueur des tuyaux, ainsi que les facteurs qui leur ont été appliqués.

Nous avons également supposé théoriquement, comme mentionné au chapitre II, que la source d'eau chaude est l'énergie solaire.

III.2. Définition de l'ANSYS

Le programme ANSYS résout des problèmes linéaires et non linéaires pour : la mécanique des structures, la mécanique des fluides, l'acoustique, la thermodynamique, la piézoélectricité et l'électromagnétisme classique.

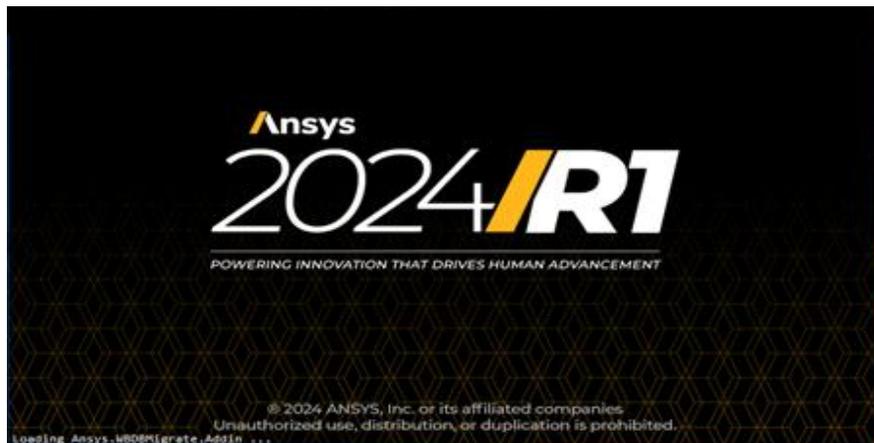


Figure III.1. Interface logicielle ANSYS.

Le programme contient un certain nombre d'éléments permettant de résoudre des problèmes unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels. Il existe actuellement deux versions du logiciel : ANSYS Classique et une version graphique (GUI) appelée ANSYS Workbench.

III.3. Type de plancher chauffant

Dans l'étude du plancher chauffant (chauffage par le sol) , nous avons trouvé plusieurs types dont le Serpentin, le Double Serpentin, le Serpentin et le Contre-courant.

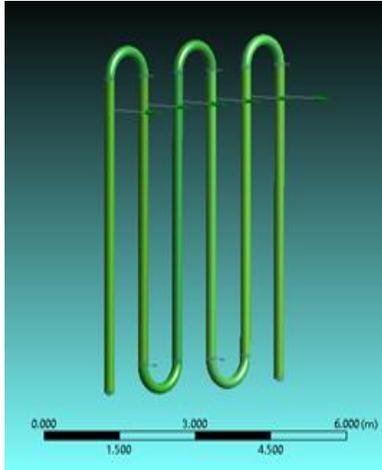


Figure III.2 Forme Serpentin.

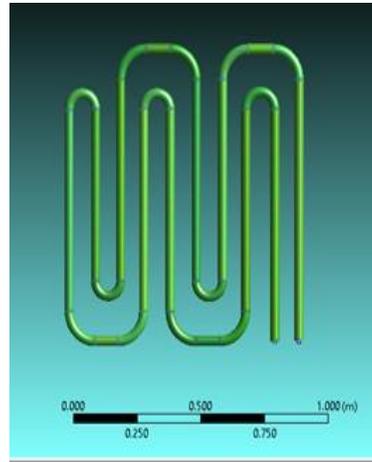


Figure III.3. Forme Double Serpentin

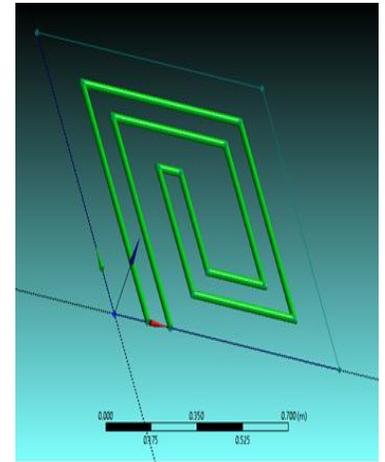


Figure III.4. Forme Contre-courant

III.4. Le choix d'un plancher chauffant

Nous avons donc choisi dans notre étude un seul type mais avec deux formes différentes (Contre-courant Carré et Contre-courant circulaire) pour voir si la même forme dans le même plancher chauffant est efficace en termes de changement de température, de vitesse d'écoulement et de diffusion de la chaleur dans la pièce .

III.4.1. Types de Contre-courant (Counter Flow)

III.4.1.1. Contre-courant circulaire

Dans ce type, nous avons pris la forme du tube en forme ronde pour éliminer les coins et nous l'avons comparée à la deuxième forme.

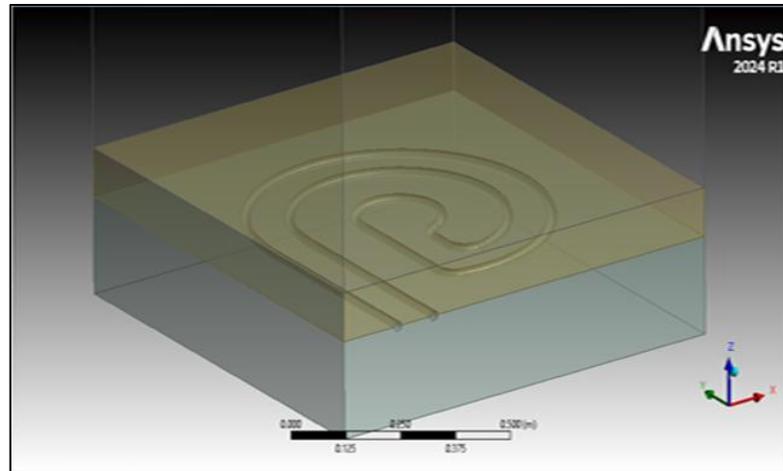


Figure III.5. Contre-courant circulaire

III.4.1.2. Contre-courant Care

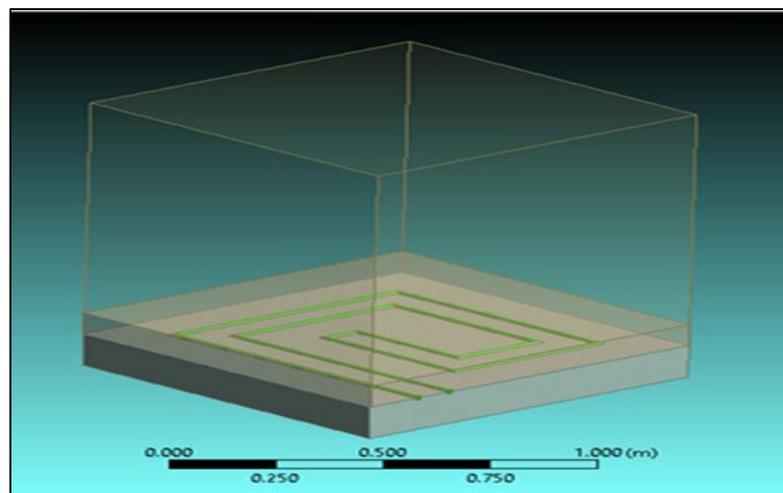


Figure III.6. Contre-courant Care

Dans ce cas, nous avons pris la forme d'un tube carré et nous nous attendons à obtenir un résultat différent de celui de l'autre forme.

III.5. Propriétés et composants

Le plancher chauffant de type Contre-courant à étudier se compose de quatre éléments : Un tube, une chambre, un Dalles isolantes et une Dalles.

Les étapes de simulation:

La simulation se déroule en trois phases, comme suit:

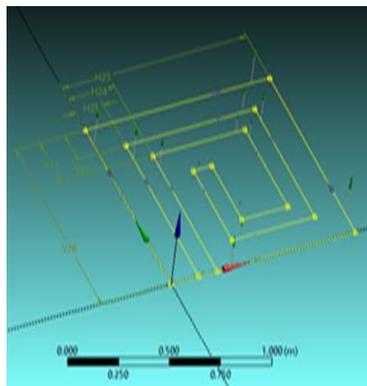
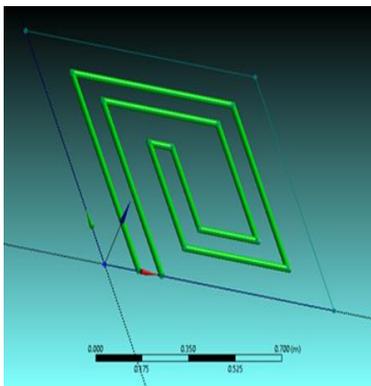
III.6. Planification

III.6.1. Tube

Pour dessiner le tuyau, nous avons considéré que la dimension entre le bord du mur extérieur et le tuyau était de 0,25 mètre et que la dimension entre le tuyau et l'autre tuyau était de 0,15 mètre.

III. 6.1.1. Tube Contre-courant Carré

Images montrant les dimensions du Tube dans une simulation



Details View	
Details of Sketch1	
Sketch	Sketch1
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 6	
<input type="checkbox"/> H23	1.0001 m
<input type="checkbox"/> H24	0.25 m
<input type="checkbox"/> H25	0.15 m
<input type="checkbox"/> V26	1.0004 m
<input type="checkbox"/> V27	0.25036 m

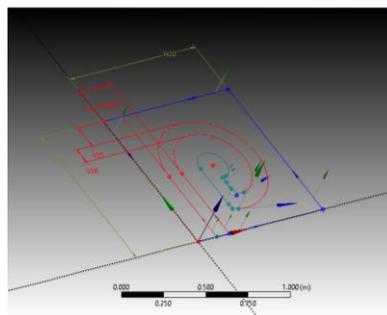
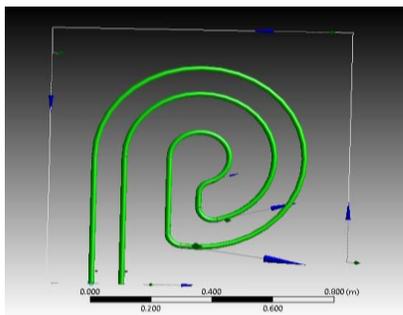
Figure III.7. Tube Contre-courant Car

Figure III.8. Image des dimensions

Tableau III.1. Tableau des dimensions

III.6.1.2. Tube Contre-courant circulaire

Images montrant les dimensions du Tube dans une simulation :



Details View	
Details of Sketch1	
Sketch	Sketch1
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 6	
<input type="checkbox"/> H20	1 m
<input type="checkbox"/> H21	0.25 m
<input type="checkbox"/> H22	0.15 m
<input type="checkbox"/> V23	1 m
<input type="checkbox"/> V25	0.14994 m

Figure III.9. Tube Contre-courant circulaire

Figure III.10. Image des dimensions

Tableau III.2. Tableau des dimensions

III.6.2. Chambre

Nous avons dessiné la pièce avec des dimensions de 1 mètre pour chaque coin, qui est un espace aérien où nous voulons connaître la forme de la propagation de la chaleur après avoir simulé deux formes.

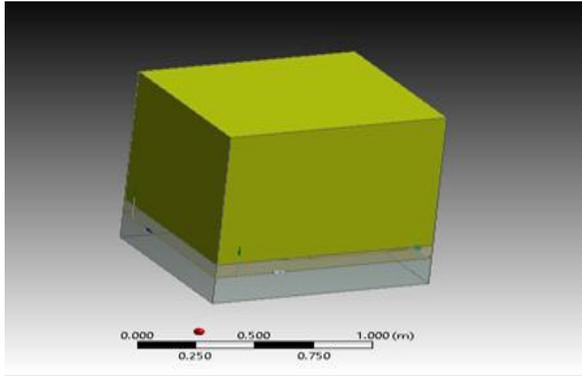


Figure III.11. Image de la chambre

Details View	
Details of Body	
Body	Solid
Volume	1 m ³
Surface Area	6 m ²
Faces	6
Edges	12
Vertices	8
Fluid/Solid	Fluid
Shared Topology Method	Default
Geometry Type	DesignModeler

Tableau III.3. Tableau des dimensions

III.6.3. Dalle isolante

Dans le dessin, nous avons considéré cette pièce comme une forme carrée de 1 mètre de côté et de 0,2 mètre d'épaisseur, et nous l'avons considérée comme un corps isolant qui ne permet pas à la chaleur de se propager dans la direction du sol pour deux formes ensemble.

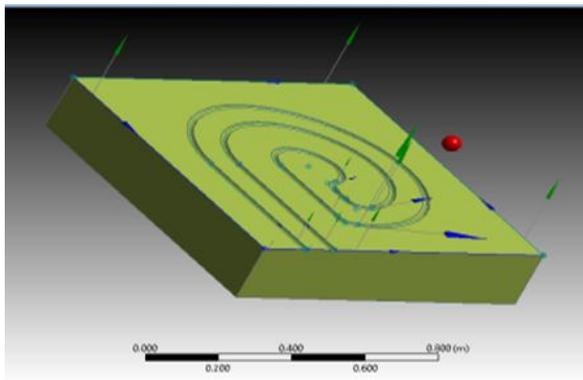


Figure III.12. Image de la Dalle isolante circulaire

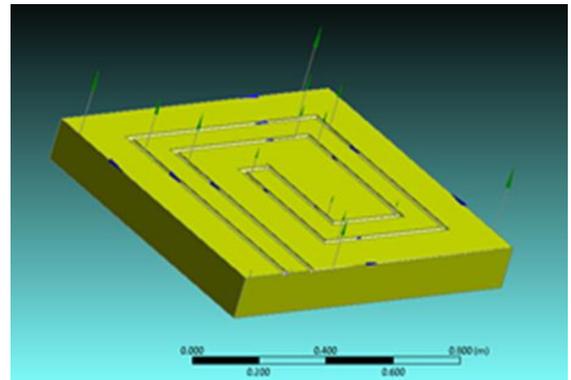
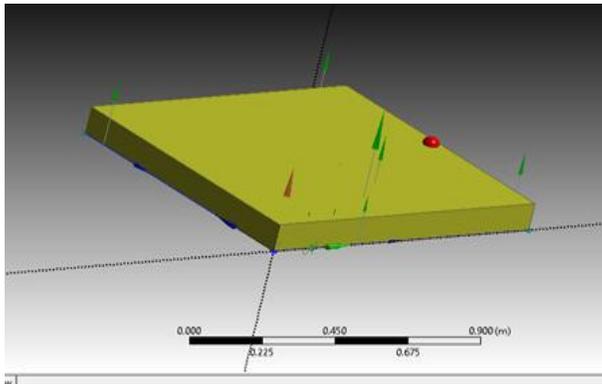


Figure III.13. Image de la Dalle isolante Carré

III.6.4. Dalle

Nous avons considéré que l'épaisseur de la couche de séparation était de 0,10 mètre, ce qui correspond à l'objet considéré comme transférant la chaleur du tuyau à la pièce.



Details View	
Details of Body	
Body	Solid
Volume	0.099241 m ³
Surface Area	2.4548 m ²
Faces	17
Edges	45
Vertices	30
Fluid/Solid	Solid
Shared Topology Method	Default
Geometry Type	DesignModeler

Figure III.14. Image de la Dalle

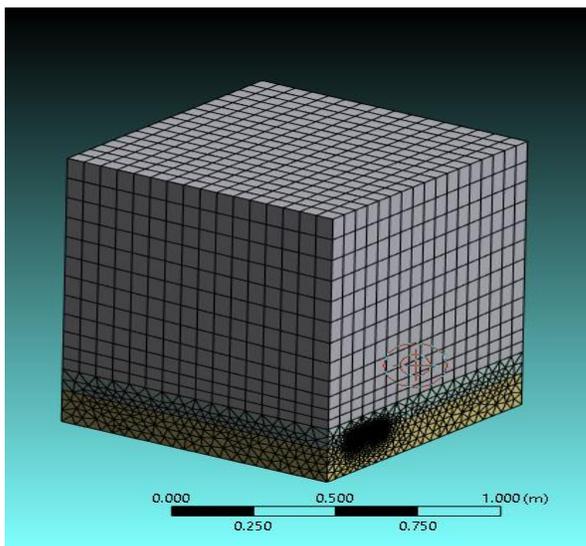
Tableau III.4. Tableau des dimensions de la Dalles

III.7. Maillage

Le maillage est la deuxième étape après le dessin dans ANSYS, où l'on identifie les nœuds et les éléments qui composent le corps et transfèrent la chaleur, ce qui est une étape importante dans la simulation.

III.7.1. Maillage Contre-courant Carré

Après avoir terminé l'étape de dessin, nous sommes passés à l'étape de Maillage pour connaître le nombre de nœuds et d'éléments contenus dans notre modèle à simuler, et nous avons trouvé dans cette figure que le nombre de nœuds atteignait 436954 et le nombre d'éléments 2212085, comme le montre l'image ci-dessous.



Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (9.4386e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
+ Sizing	
+ Quality	
+ Inflation	
+ Advanced	
- Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	436954
<input type="checkbox"/> Elements	2212085
Show Detailed Statistics	No

Figure III.15. Maillage Contre-courant Car

Tableau III.5. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

III.7.2. Maillage chambre (Contre-courant Carré)

Nous avons constaté que la pièce se compose de 3978 nœuds et de 3264 éléments, comme le montre l'image ci-dessous.

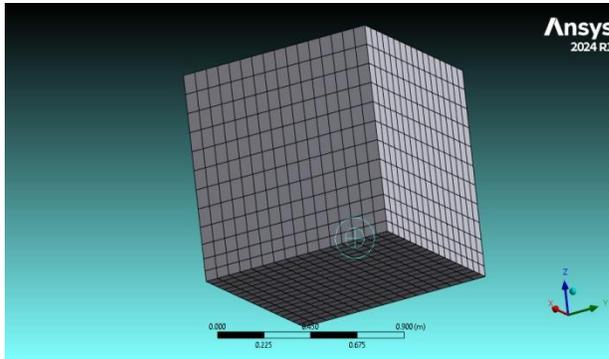


Figure III.16. Maillage chambre

Details of "Mesh"	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.4386e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	3978
Elements	3264
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.6. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

III.7.2.1. Maillage Dalle

Dalles se composent de 198769 nœuds et 1053530 éléments comme le montre les figures suivantes :

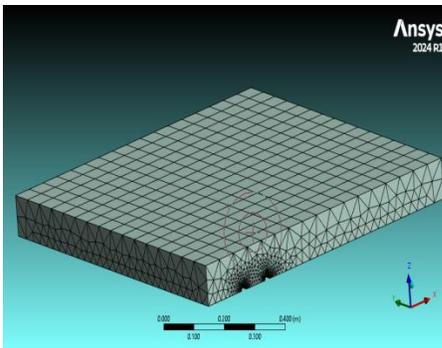


Figure III.17.1. Maillage Dalle

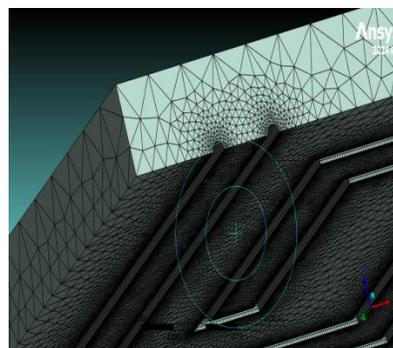


Figure III.17.2. Maillage Dalle

Details of "Mesh"	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.4386e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	198769
Elements	1053530
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.7. Tableau du nombre de nœuds

III.7.2.2. Maillage Tube (Contre-courant Carré)

Après avoir terminé le processus de maillage, nous avons constaté que le tube est constitué de 86436 nœuds et de 66994 éléments, comme le montre l'image ci-dessous.

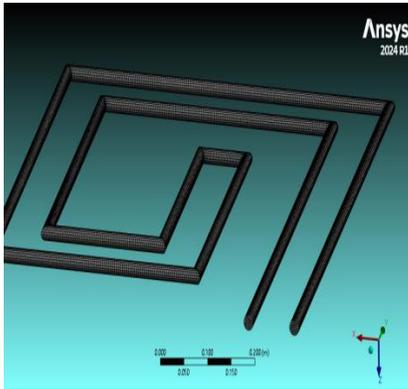


Figure III.18.1. Maillage Tube

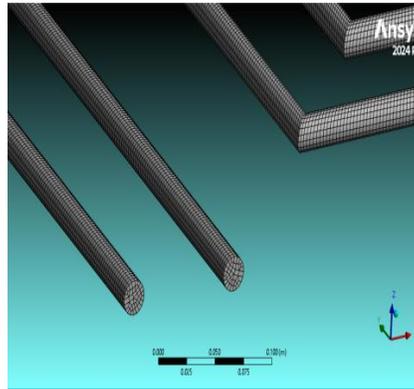


Figure III.18.2. Maillage Tube

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.4386e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	86436
Elements	66994
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.8. Tableau du nombre de nœuds

III.7.2.3. Maillage Dalle isolante

Dalles isolantes se compose de 204815 nœuds et 1088297 éléments comme le montre l'image.

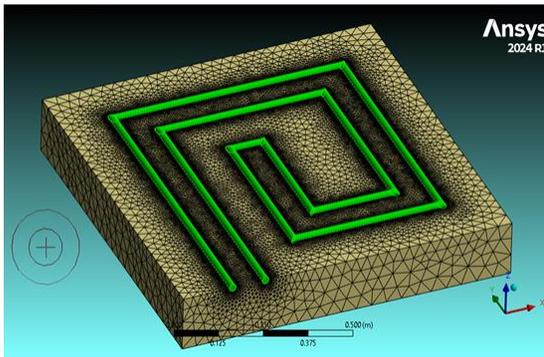


Figure III.19.1. Maillage Dalle isolante.

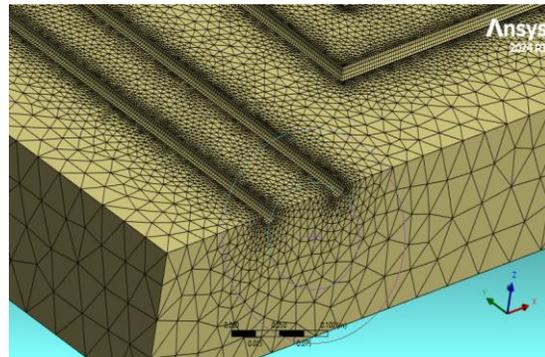


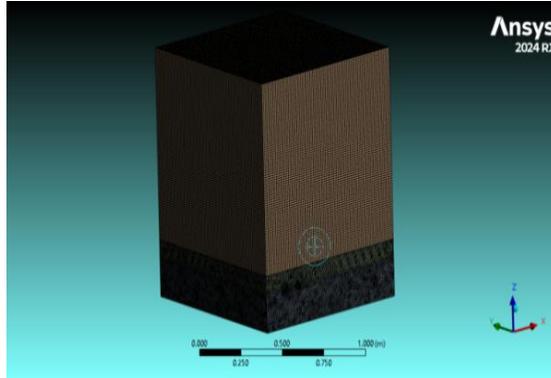
Figure III.19.2. Maillage Dalle isolante

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.4386e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	204815
Elements	1088297
Show Detailed Statistics	No

Tableau.III.9. Tableau du nombre de nœuds

III.7.3. Maillage Contre-courant circulaire

Après avoir terminé l'étape de dessin, nous sommes passés à l'étape de Maillage pour connaître le nombre de nœuds et d'éléments contenus dans notre modèle à simuler, et nous avons trouvé dans cette figure que le nombre de nœuds atteignait 829036 et le nombre d'éléments 1957498, comme le montre l'image ci-dessous.

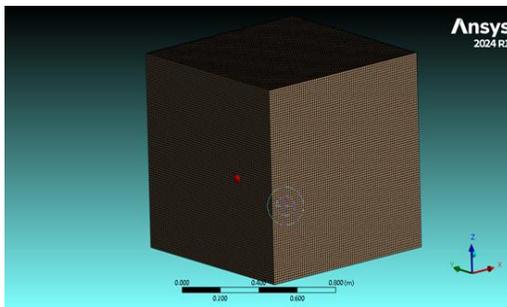


Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (9.6053e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	829036
<input type="checkbox"/> Elements	1957498
Show Detailed Statistics	No

Figure III.20. Maillage Contre-courant circulaire Tableau III.10. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments.

III.7.3.1. Maillage chambre

Nous avons constaté que la pièce se compose de 592704 nœuds et de 571787 éléments, comme le montre l'image ci-dessous.



Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (9.6053e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	592704
<input type="checkbox"/> Elements	571787
Show Detailed Statistics	No

Figure III.21. Maillage chambre

Tableau III.11. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

III.7.3.2. Maillage Tube

Après avoir terminé le processus de maillage, nous avons constaté que le tube est constitué de 6273 nœuds et de 20259 éléments, comme le montre l'image ci-dessous.

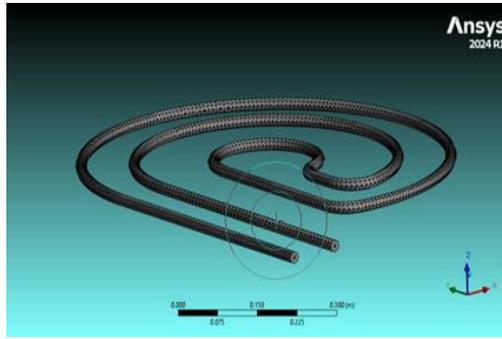


Figure III.22. Maillage Tube

Details of "Mesh"	
Display	Use Geometry Setting
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.6053e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	6273
Elements	20259
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.12. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

III.7.3.3. Maillage Dalle

Dalles se compose de 86208 nœuds et 461761 éléments comme la figure suivante :

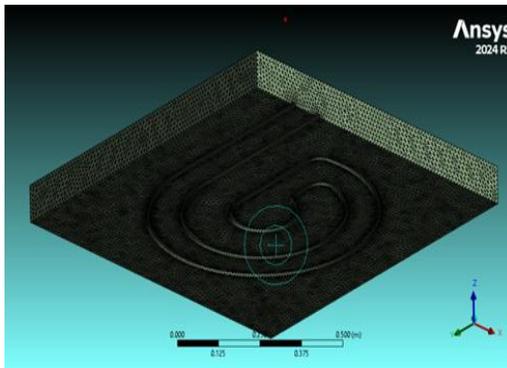


Figure III.23. Maillage Dalle

Details of "Mesh"	
Display	Use Geometry Setting
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.6053e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	86208
Elements	461761
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.13. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

III.7.3.3.1. Maillage Dalle isolante

Dalles isolantes se compose de 164988 nœuds et 921765 éléments comme le montre la figure suivante :

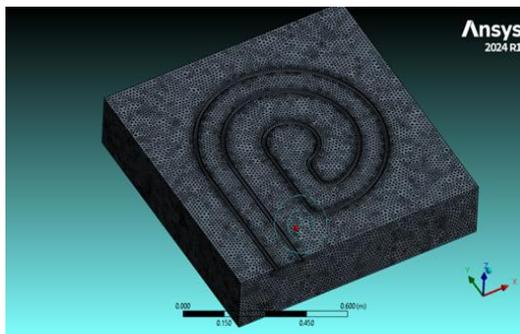


Figure III.24. Maillage Dalle isolante

Details of "Mesh"	
Display	Use Geometry Setting
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Size	Default (9.6053e-002 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	164988
Elements	921765
Show Detailed Statistics	No

Tableau III.14. Tableau du nombre de nœuds et d'éléments

CHAPITRE IV

**Résultats : discussion
et interprétation**

Chapitre IV : Résultats : discussion et interprétation

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à représenter les résultats obtenus en simulant le problème présenté dans la section précédente avec des explications appropriées.

Le phénomène de convection mixte était associé à l'écoulement de l'eau dans un tube annulaire carré (**conception 1**) et un tube circulaire (**conception 2**) à différentes températures (325 degrés à 360 degrés) et à des vitesses allant de 0,1 m/s à 0,5 MS. Ce tuyau est pris en sandwich entre deux couches : la couche supérieure de ciment et la couche inférieure isolante.

Les parois extérieures de la chambre sont exposées à une température ambiante de 300 degrés kelvin. Pour mieux comprendre le comportement dynamique et thermique de l'eau à l'intérieur de la canalisation et de l'air à l'intérieur de la chambre étudiée, les grandeurs thermo physiques, à savoir la vitesse et la température, ont été présentées sous forme de courbes, de contours et de vecteurs.

L'effet de la température et de la vitesse d'entrée pour chaque type de plancher est présenté en premier. Après cela, une comparaison entre eux pour déterminer lequel des deux systèmes de planchers est le meilleur.

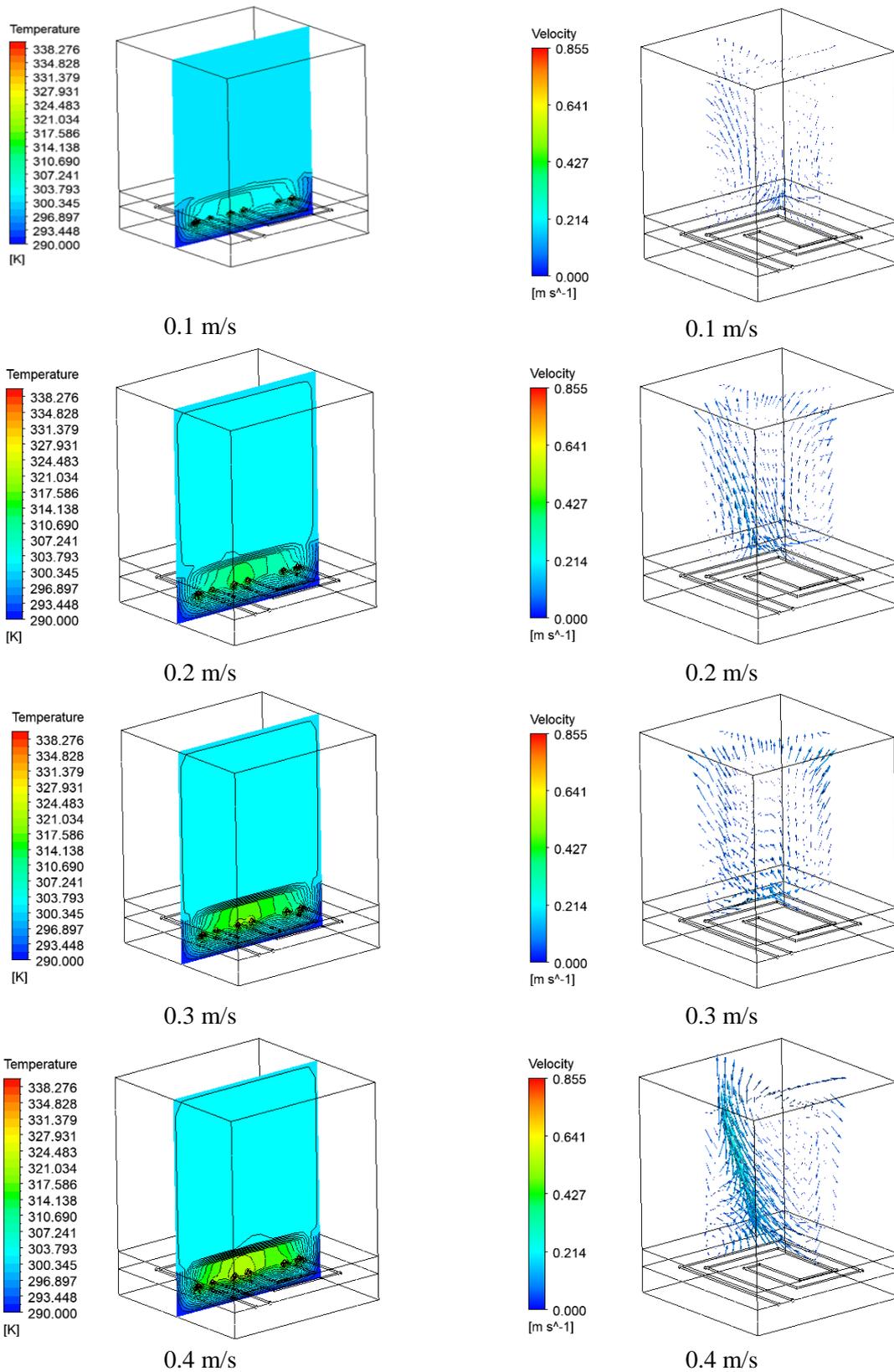
IV.2. Présentation des résultats

IV.2.1. Effet de la vitesse d'entrée d'eau chaud (concept carrée)

Dans une chambre, la différence de vitesse d'arrivée d'eau chaude et de température a un effet significatif sur les isothermes et les vecteurs vitesses. Lorsque la vitesse d'entrée varie, cela peut provoquer des turbulences dans la chambre, susceptibles de perturber la répartition de la température et de la vitesse. Les isothermes, qui représentent les lignes de température constante, peuvent être déformées ou déplacées par cette perturbation qui en résulte.

De même, et d'après les figures suivantes des vecteurs de vitesse, qui indiquent la direction et l'intensité du mouvement de l'air dans une chambre, montrant ainsi des schémas de

circulation plus complexes. Concernant la température d'entrée, la différence peut modifier la densité du fluide et donc son comportement dans la chambre.



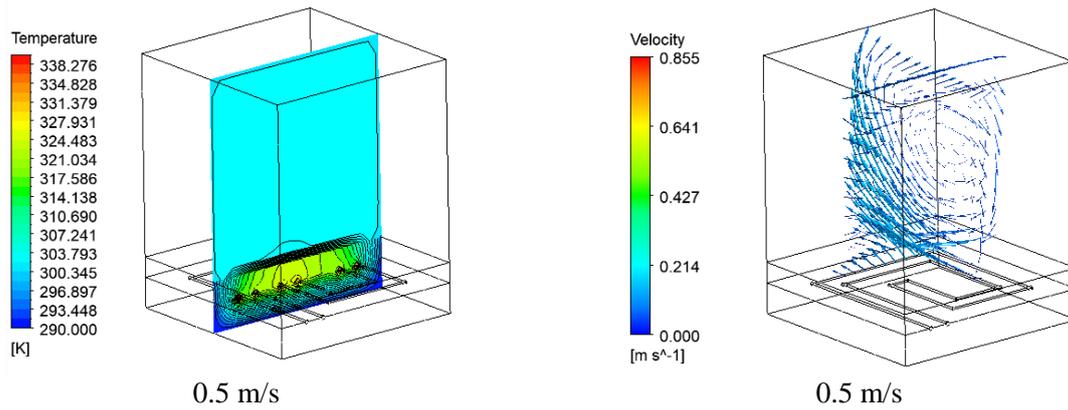


Figure IV.1. Variation de température et vecteurs vitesse en fonction de la vitesse d'entrée.

la courbe suivante montre une relation directe entre la température de sortie d'un plancher chauffant et la vitesse d'entrée du fluide suggère que lorsque la vitesse du fluide augmente, la température de sortie du plancher augmente également.

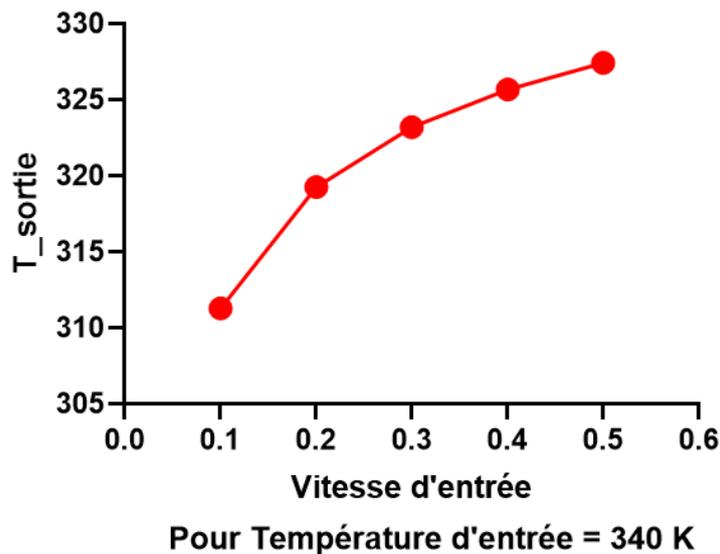


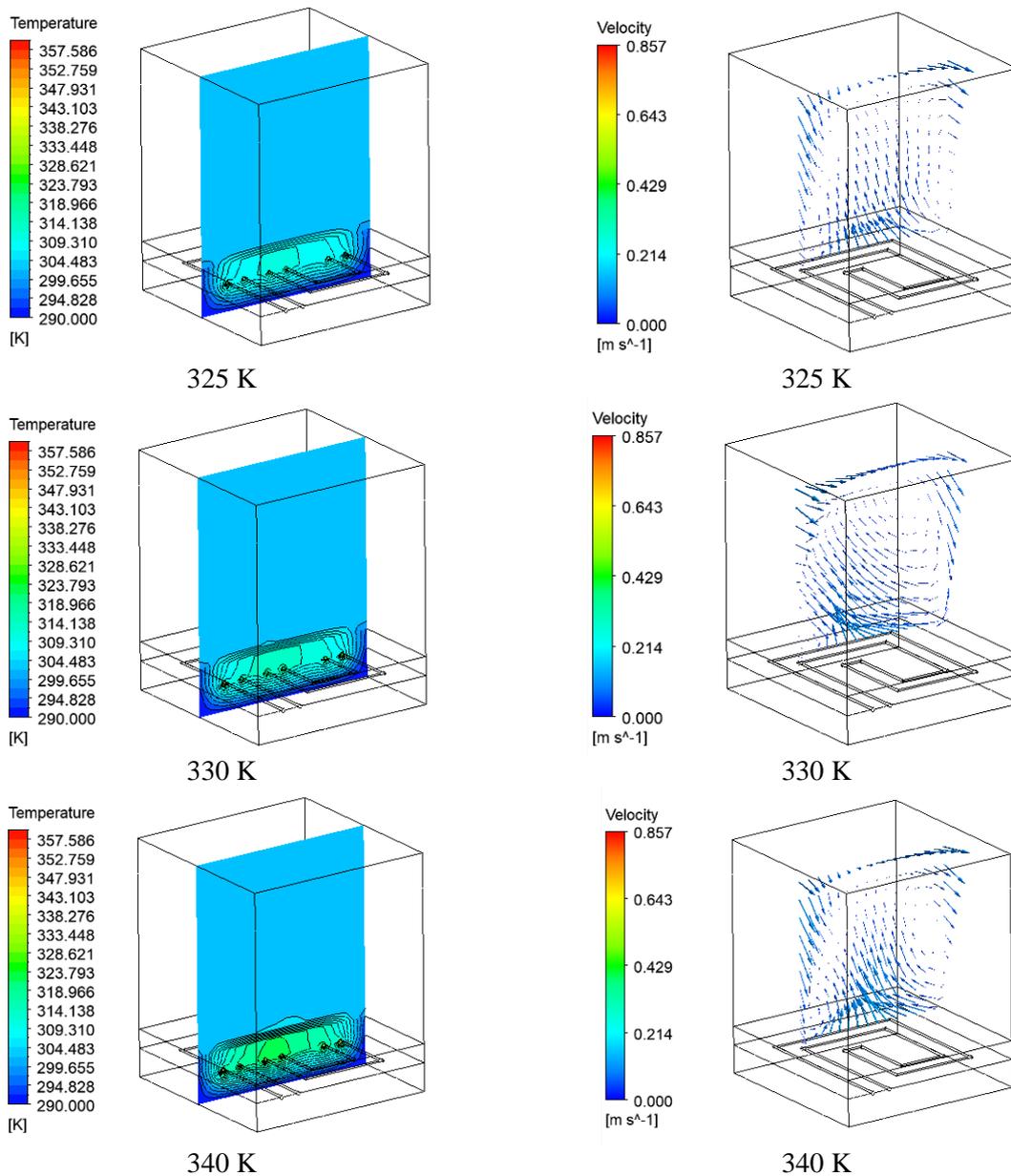
Figure IV.2. La variation de la température de sortie en fonction de la vitesse d'entrée

Cette relation peut être due à une meilleure circulation du fluide à des vitesses plus élevées, favorisant ainsi un transfert de chaleur plus efficace entre le fluide et le plancher. Par exemple, à des vitesses d'entrée faibles, le fluide pourrait avoir un contact insuffisant avec le plancher, limitant ainsi le transfert de chaleur. Cependant, à mesure que la vitesse d'entrée augmente, le fluide circule plus rapidement à travers le système, augmentant ainsi les chances d'un contact plus étroit et prolongé avec le plancher, ce qui se traduit par une augmentation de la température de sortie.

Donc relation directe entre la vitesse d'entrée et la température de sortie suggère une augmentation de la performance du système de chauffage à des vitesses de fluide plus élevées.

IV.2.2. Effet de la température d'entrée d'eau chaud (concept carrée)

Quand la température d'entrée élevée et la vitesse assez faible peuvent faire perdre à l'eau chaude une grande quantité de chaleur dans la chambre, ce qui conduit à un bon chauffage, comme le montrent les résultats présentés pour la distribution des températures et des vitesses à l'intérieur.



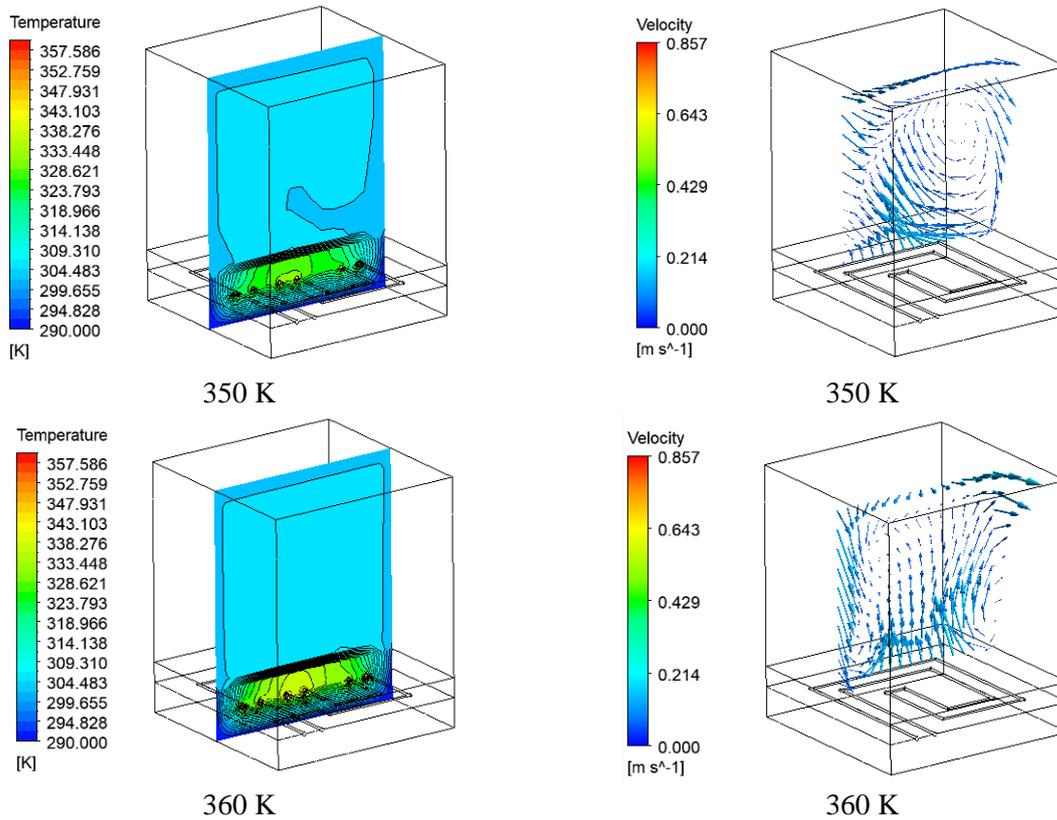


Figure IV.3. La variation de la température et vecteurs vitesse en fonction de la température d'entrée.

En résumé, la modification de la vitesse et de la température d'entrée peut modifier la dynamique des fluides dans la chambre, affectant les isothermes et les vecteurs des vitesses.

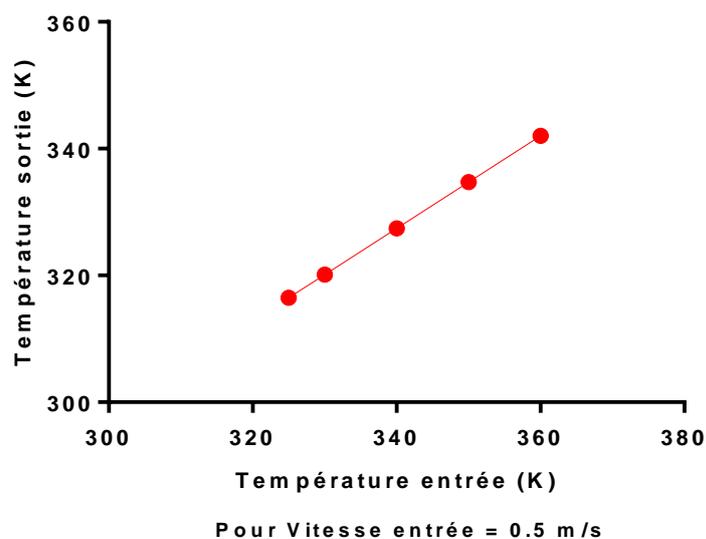
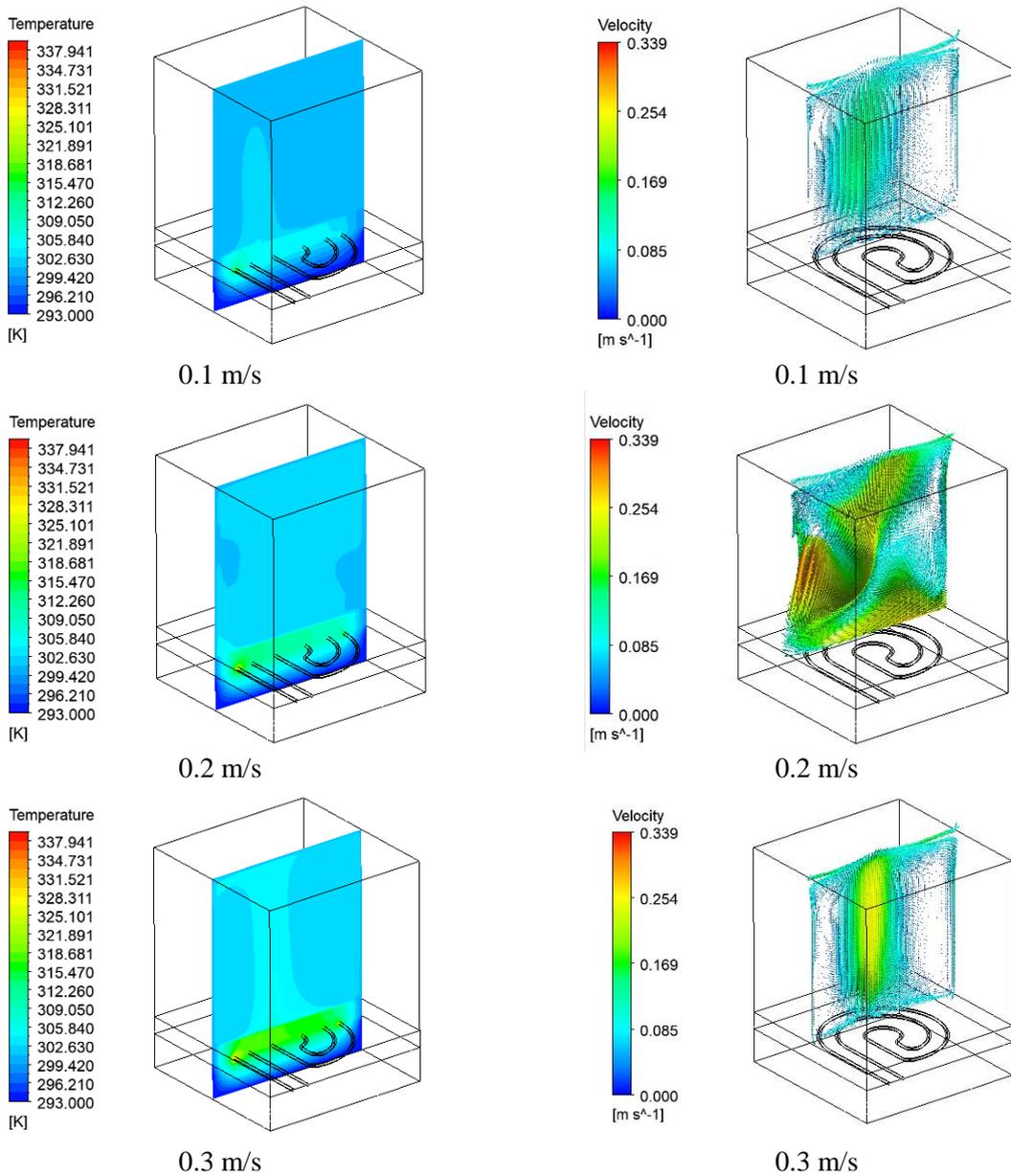


Figure IV.4. la variation de la température de sortie en fonction de la température d'entrée

IV.2.3. Effet de la vitesse d'entrée d'eau chaud (concept cercle)

Les figures suivantes présentent la distribution de la température et les vecteurs vitesses dans la chambre pour la deuxième conception de plancher étudiés (Cercle) en fonction de la vitesse d'entrée de l'eau chaud et de sa température.



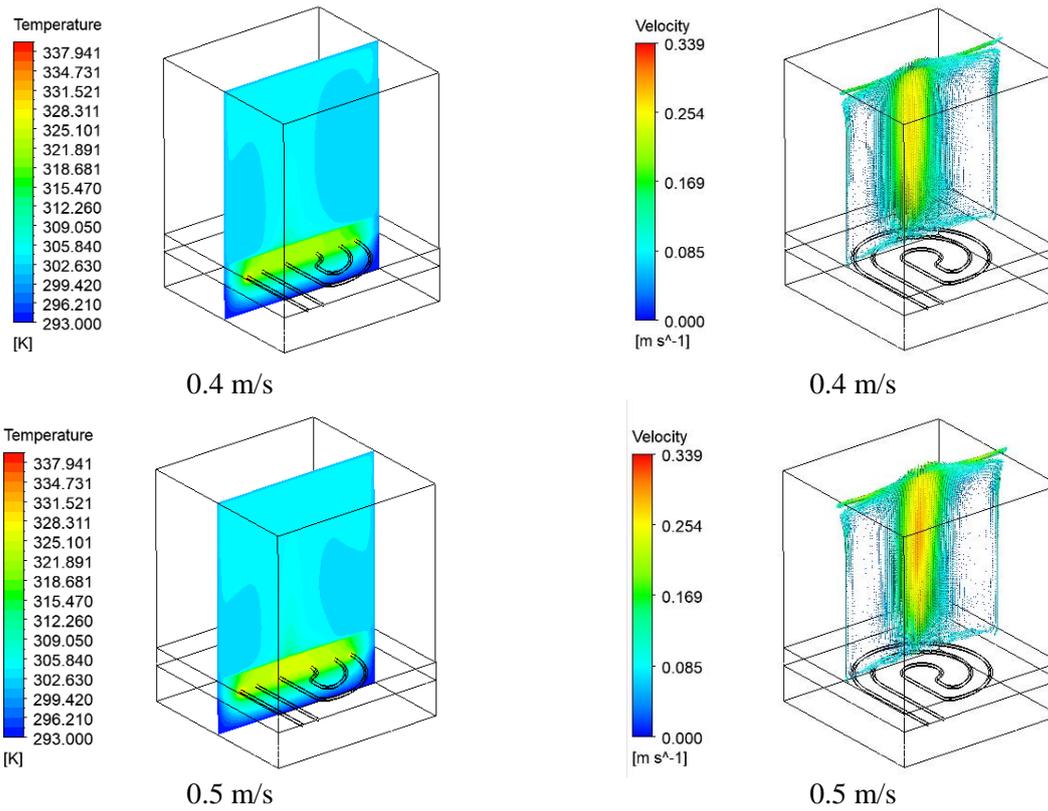


Figure IV.5. La variation de la température et vecteurs vitesse en fonction de la vitesse d'entrée

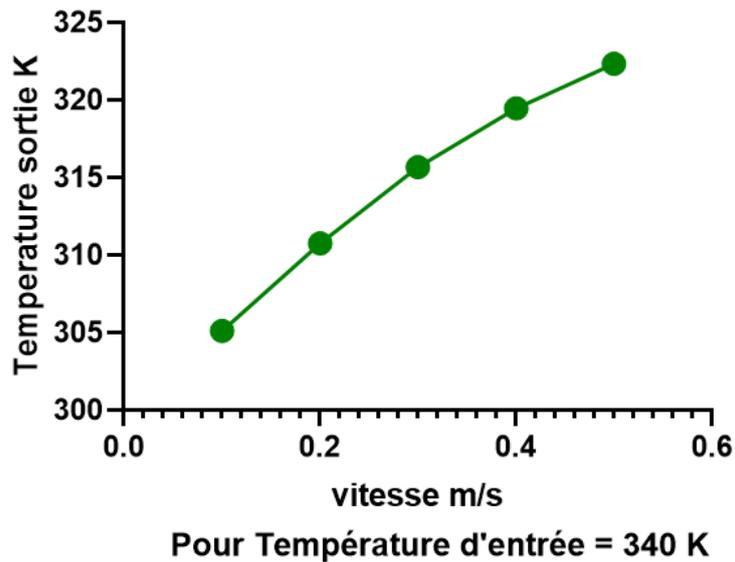
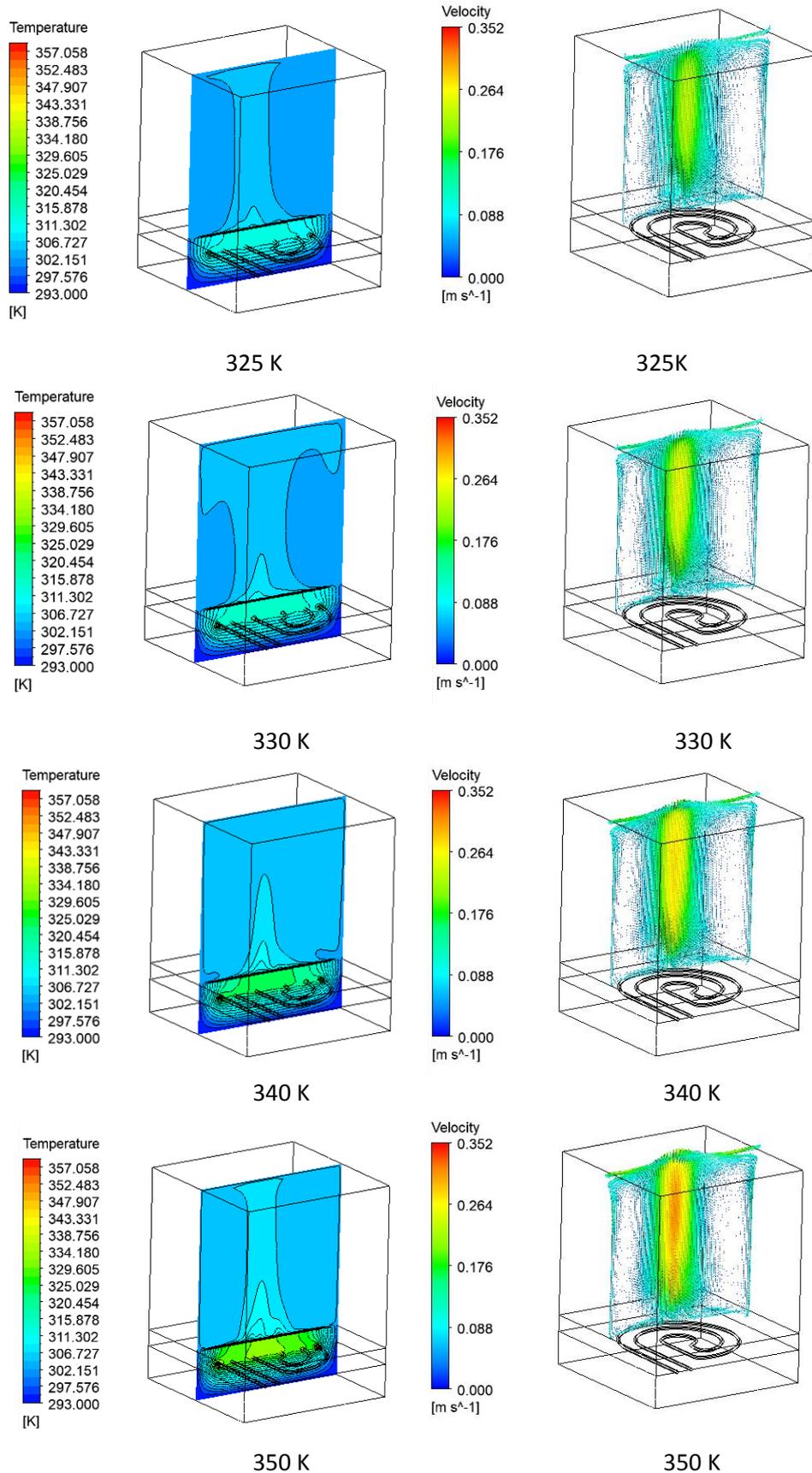


Figure IV.6. La variation de la température de sortie en fonction de la vitesse d'entrée

IV.2.4. Effet de la température d'entrée d'eau chaude (concept cercle)



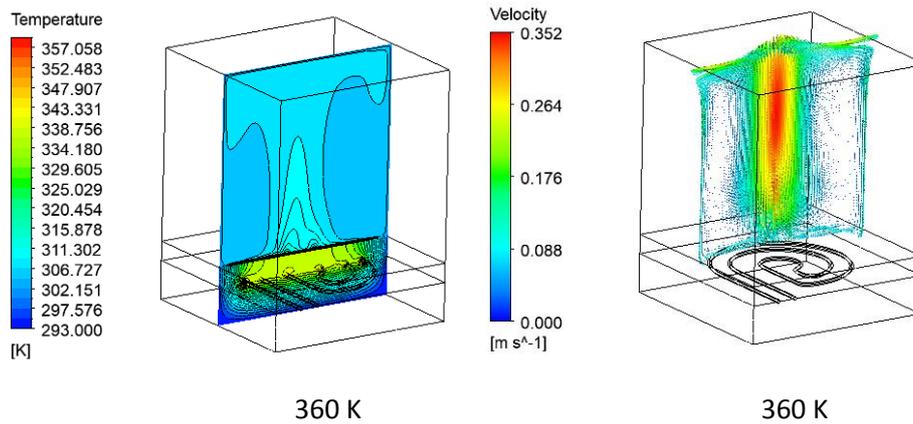


Figure IV.7. La variation de la température et vecteurs vitesse en fonction de la température d'entrée.

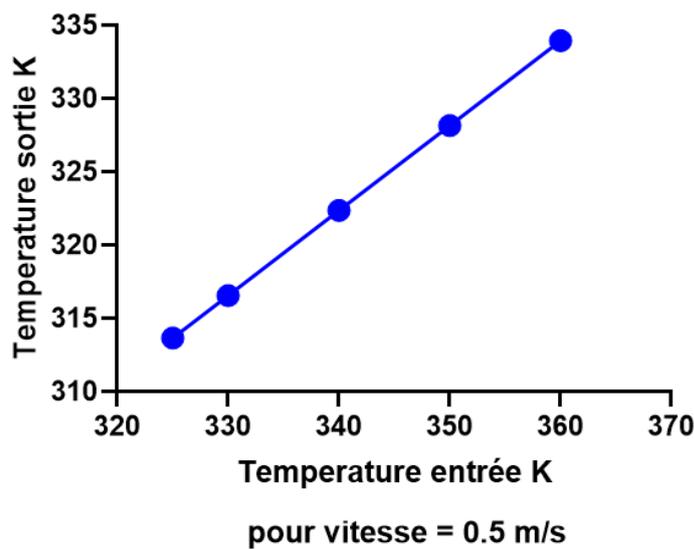


Figure IV.8. La variation de la température de sortie en fonction de la vitesse d'entrée

IV.3. Etude comparatif entre les conceptions étudiées

Une étude comparative entre deux configurations de planchers, carré et circulaire, révèle des différences significatives dans les isothermes et les vecteurs de vitesse, en fonction des variations de vitesse et de température d'entrée dans une chambre. Dans le cas du plancher carré, la circulation du fluide peut être plus régulière et prévisible, avec les vecteurs de température et relativement uniformes et des vecteurs de vitesse présentant un schéma de circulation plus ordonné.

Le plancher circulaire peut induire une turbulence accrue en raison de sa configuration sinueuse, ce qui peut entraîner des déformations dans les vecteurs de température et des vecteurs de vitesse plus chaotiques. Lorsque la vitesse d'entrée augmente, cette différence de conception peut se manifester par une perturbation plus importante des isothermes et une augmentation de la complexité des vecteurs de vitesse dans le plancher serpentin par rapport au plancher carré.

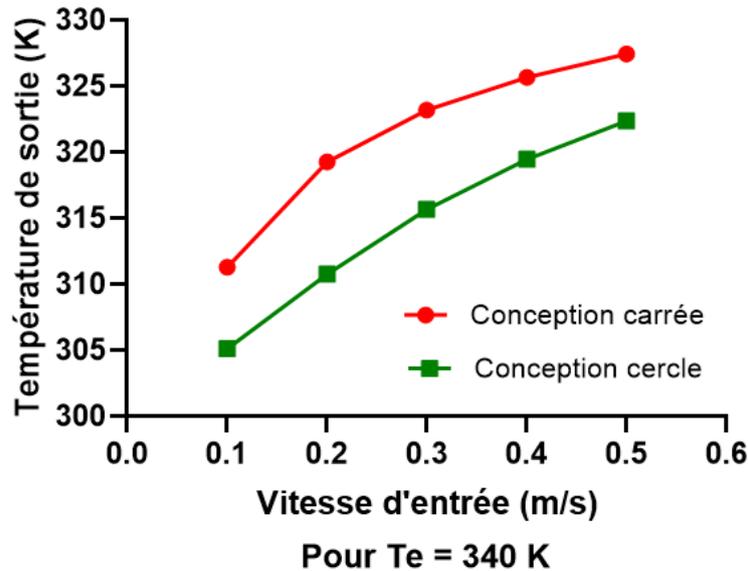


Figure IV.9. La variation de la température de sortie en fonction de la vitesse d'entrée (Concept carré et serpentine)

De même, des variations de température d'entrée peuvent influencer différemment les deux configurations, avec des effets distincts sur la distribution des températures et des vitesses dans la chambre. En conclusion, cette étude comparative met en lumière l'importance de la conception du plancher dans la modulation des écoulements fluides et des transferts de chaleur dans une chambre, en tenant compte des variations de vitesse et de température d'entrée.

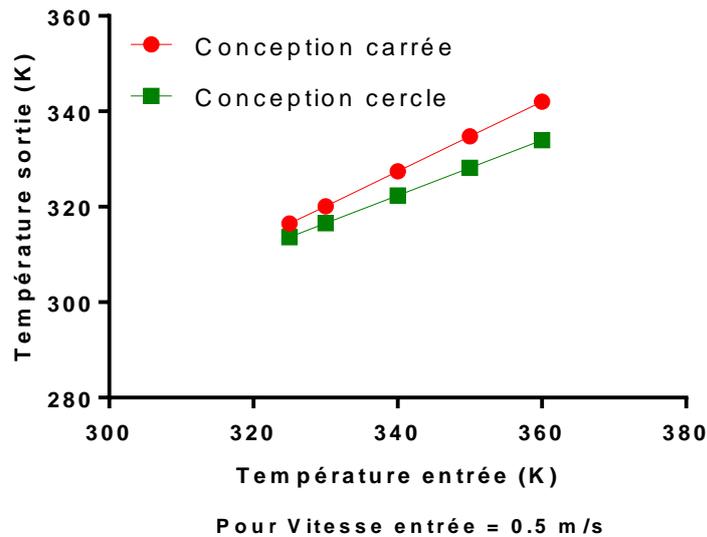


Figure IV.10. La variation de la température de sortie en fonction de la température d'entrée (Concept carré et serpentine).

IV.4. Conclusion

Dans ce travail, on a présenté une étude numérique d'un plancher chauffant où nous proposons deux configurations de planchers, carré et circulaire, met en évidence des résultats significatifs quant à l'effet de la vitesse et de la température d'entrée sur les La variation de la température et les vecteurs de vitesse dans une chambre. Les observations révèlent que le plancher circulaire présente une performance optimale dans cette configuration spécifique. La variation de la température et les vecteurs de vitesse dans le plancher circulaire démontrent une capacité supérieure à maintenir une distribution plus uniforme des températures et des vitesses, même face à des variations importantes de vitesse et de température d'entrée. Cette constatation suggère que la conception circulaire favorise une turbulence contrôlée et une meilleure dispersion thermique à travers la chambre, ce qui peut être particulièrement bénéfique pour des applications nécessitant une régulation précise de la température ou des échanges thermiques efficaces. En conclusion, les résultats de cette étude soutiennent la supériorité du plancher circulaire dans ce contexte spécifique, soulignant ainsi l'importance de la conception du plancher dans l'optimisation des performances thermiques et fluidiques des systèmes de chambre.

Conclusion Générale

Dans cette étude numérique portant sur un système de plancher chauffant, nous avons examiné deux configurations distinctes : un plancher carré et un plancher circulaire. Les résultats obtenus ont mis en évidence des conclusions importantes concernant l'influence de la vitesse et de la température d'entrée sur les vecteurs de température et les vecteurs de vitesse à l'intérieur de la chambre. Notre recherche a révélé que le plancher circulaire se distingue par ses performances supérieures dans cette configuration spécifique. En effet, les vecteurs de température et les vecteurs de vitesse associés au plancher circulaire ont démontré une capacité remarquable à maintenir une distribution plus uniforme des températures et des vitesses, même en présence de variations significatives de la vitesse et de la température d'entrée. Ces résultats suggèrent que la conception circulaire favorise une turbulence contrôlée et une dispersion thermique plus efficace à travers la chambre, ce qui peut être particulièrement bénéfique pour des applications nécessitant une régulation précise de la température ou des échanges thermiques optimaux. En conclusion, cette étude souligne l'importance cruciale de la conception du plancher dans l'optimisation des performances thermiques et fluidiques des systèmes de chauffage, tout en mettant en lumière le potentiel du plancher circulaire comme choix privilégié dans ce domaine. Ces résultats offrent des perspectives précieuses pour le développement futur de systèmes de chauffage plus efficaces et plus performants.

Références bibliographiques

- [1]- **Ch.P. De Brichambaut, Ch.Vauge.** *Le gisement solaire évaluation de la ressource énergétique.* Edit Technique et Documentation, Paris (1981).
- [2]- **G. Chassagne,C.Dupuy,M.Levy.** *Energie solaire conversion et applications.* Edition C.N.R.S, Institut d'Etudes Scientifiques de Cargèse (1977).
- [3]- **A. Sfeir, G. Guarracino.** *Ingénierie des systèmes solaires.* Technique et Documentation, Paris (1981).
- [4]- **A.Chaker.***Promesses et Perspectives du Photothermique.* *Revue des Energies Renouvelables: ICPWE* (2003).
- [5]- **A.H.Khedim.***Energies solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque.* Centre de Publication Universitaire (2003).
- [6]- **Michele De Carli, Massimo Tonon.** *Effet de la modélisation du rayonnement solaire sur les performances de refroidissement des planchers radiants, Le magazine de l'énergie solaire, volume 85, 2011.*
- [7]- **Recknagel.***Manuel pratique de génie climatique*(1986).
- [8]- **Andreas K. Athienitis,** *enquête sur les performances thermiques d'un bâtiment solaire passif avec chauffage radiant au sol, le magazine de l'énergie solaire, 1997 Vol.61 ; ISS.5, DOI : 10.1016/s0038 092x(97)00077-7*
- [9]- **Giulia Alessio, Michele De Carli, Angelo Zarrella et Antonino Di Bella,** *Efficacité dans le fonctionnement de chauffage de systèmes radiants à basse température Travailler dans des conditions dynamiques dans différents types de bâtiments, article de science appliquée, Département de génie industriel, Université de Padoue, 35131 Padoue, Italie; 26 novembre 2018*
- [10]- **K. Imessad, N. Aït Messaoudene, M. Belhamel.** *Etude du comportement et de la rentabilité économique du système de chauffage solaire Barra-costantini dans les conditions climatiques de l'Algérie. Revue des Energies Renouvelables 11^{ème} Journées Internationale de Thermique* (2003).
- [11]- **R. Kharchi.** *Etude expérimentale du comportement thermique d'un plancher solaire direct. Thèse de magister Université Blida* (2002).
- [12]- **R. Kharchi, B. Benyoucef, M. Belhamel.** *Système solaire combiné, estimation des besoins énergétiques. Revue des Energies Renouvelables ICRES-07* (2007).
- [13]- **P. Fridmann.** *Le plancher chauffant et rafraichissant, réglementation, dimensionnement, mise en œuvre, réglage.* Edition Parisienne (2003).
- [14]- **H.Bourefis.** *Modélisation d'un plancher chauffant. Thèse de magistère, Université Mentouri Constantine* (2000).
- [15]- **A. DARS,** *Projet de fin d'études pour le master de recherche MEEP, Etude et développement d'un modèle analytique pour planchers chauffants hydrauliques, EPF école d'ingénieurs, Troyes,*

France, 2017.

[16]- **M. Amir, M. Lacroix, N. Galanis.** Comportement thermique de dalles chauffantes électriques pour le stockage quotidien. *Int. J. Therm. Sci*, 38 (1999).

[17]- **Anissa SALMI,** *Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire d'une maison individuelle type pavillon, Mémoire d'ingénieur UMMTO 2007.*

[18]- **R.Kharchi, N.AitMessaoudene, M.Belhamel.** Etude expérimentale du comportement thermique d'un plancher solaire direct. *Revue des Energies Renouvelables, Journées Internationales de Thermique*, N° 115-119 (2001).

[19]- **D. Ababsa.** Optimisation du rendement d'un capteur solaire par minimisation des pertes convectives. Thèse de magister Université Batna (2009).

[20]- **F. Ben Yelles, B. Benabadj, B. Benyoucef, Z. Ziani.** Comparaison entre un capteur à aéro-gel de silice et d'autres capteurs plans. *13èmes Journées Internationales de Thermique*(2007).

[21]- **F.MokhtarietD.Semmar.** Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air. *Revue des Energies Renouvelables*, 34 (1999).

[22]- **D. Njomo.** Etude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre. *Rev. Gén. Therm*, 37 (1998).

[23]- <http://www.domotelec.fr/achat/pompe-a-chaaleur-air-eau/381-aerothermie.html>

[24]- <https://www.jade-technologie.com/composition-dun-panneau-solaire/>

[25] -<https://nideck.com/ballon-tampon-combine-niox1/350-ballon-tampon-niox1-500-combine-eau-chaude-sanitaire.html>

Les Annexes

Annexe 01. Contre-courant circulaire :

- Vitesse constante 0,5 m/s et température d'entrée variable 325/360k
- Température d'entrée constante 340K vitesse variable de 0.1 /0.5 m/s

Table of Design Points							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name ▾	Update Order ▾	P1 - velocity ▾	P2 - Tin ▾	P3 - ts-op ▾	<input type="checkbox"/> Retain	Retained Data
2	Units		m s ⁻¹ ▾	K ▾	K		
3	DP 0 (Current)	1	0.5	340	322.35	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
4	DP 1	2	0.4	340	319.47	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
5	DP 2	3	0.3	340	315.67	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
6	DP 3	4	0.2	340	310.76	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
7	DP 4	5	0.1	340	305.11	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
8	DP 5	6	0.5	325	313.66	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
9	DP 6	7	0.5	330	316.56	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
10	DP 7	8	0.5	340	322.36	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
11	DP 8	9	0.5	350	328.15	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
12	DP 9	10	0.5	360	333.95	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
*						<input type="checkbox"/>	

Tableau III.14. Tableau montrant la différence de température et de vitesse Contre-courant circulaire

Annexe 02. Contre-courant Carré :

- Vitesse constante 0,5 m/s et température d'entrée variable 325/360k :

Table of Design Points					
	A	B	C	D	E
1	Name ▾	P1 - velocity ▾	P3 - Tinlet ▾	P2 - temp_outlet-op ▾	<input type="checkbox"/> Retain
2	Units	m s ⁻¹ ▾	K ▾	K	
3	DP 0 (Current)	0.5	325	316.48	<input checked="" type="checkbox"/>
4	DP 1	0.5	330	320.13	<input checked="" type="checkbox"/>
5	DP 2	0.5	340	327.43	<input checked="" type="checkbox"/>
6	DP 3	0.5	350	334.74	<input checked="" type="checkbox"/>
7	DP 4	0.5	360	342.04	<input checked="" type="checkbox"/>
*					<input type="checkbox"/>

Tableau III.14. Tableau indiquant la variation de la température et de la vitesse constante

- Température d'entrée constante 340K vitesse variable de 0.1 /0.5 m/s

Table of Design Points					
	A	B	C	D	E
1	Name	P1 - velocity	P2 - temp_outlet-op	<input type="checkbox"/> Retain	Retained Data
2	Units	m s ⁻¹	K		
3	DP 0 (Current)	0.5	327.43	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
4	DP 1	0.4	325.67	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
5	DP 2	0.3	323.19	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
6	DP 3	0.2	319.27	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
7	DP 4	0.1	311.28	<input checked="" type="checkbox"/>	✓
*				<input type="checkbox"/>	

Tableau III.14. Tableau indiquant la variation de la vitesse et de la température constante

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de La recherche Scientifique

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département automatique et électromécanique



جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الآلية والكهروميكانيك

إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة): طالب أحمد سامان

2. الطالب (ة):

3. الطالب (ة):

تخصص: صيانة صناعية

نمنح نحن الأستاذ (ة):

الاسم واللقب	الرتبة - الجامعة الأصلية	الصفة	الامضاء
بلورينة بلخير	أستاذ محاضر قسم بحوث	رئيسا	
بلعوج خيدالرحمن	أستاذ تعليم عالي - جامعة غرداية	مصحح 01	
برهان توفيق	أستاذ مساعد - قسم ب	مصحح 02	
بلاتيت عبد الحامد	أستاذ مساعد قسم ب	مؤطر	

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بعنوان

Modélisation du comportement thermique
d'un plancher chauffant.

إمضاء رئيس القسم

العلمي عبد اللطيف
رئيس قسم الآلية
و الكهروميكانيك

