

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de Technologie

Département de génie civil



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER** en **GENIE CIVIL**

Spécialité : Structures : Efficacité Energétique dans les bâtiments de Construction

Par : BENAZZOUZ AHLEM / CHALABI BACHIR

Sujet

Étude dynamique du comportement thermique d'un plancher chauffant

Devant le jury composé de :

Mme BOURABAH. I	MCB	Université de Tlemcen	Présidente
Mme RETERI. K	MAB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr SELKA Ghouti	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr TROUZINE Habib	PROFESSEUR	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

• Remerciements •

Nous tenons, en premier lieu à remercier ALLAH le tout puissant pour le courage et la patience qu'il nous a donnés afin d'accomplir ce modeste travail.

On tient à remercier vivement notre Encadrant Mr SELKA Ghouti pour toutes ses orientations et sa disponibilité et notre Co-Encadrant Mr TROUZINE Habib pour son aide précieuse.

On remercie également les membres du jury qui nous feront l'honneur d'examiner et évaluer ce mémoire, ainsi que l'ensemble des enseignants de département de Génie Civil.

On tient à exprimer notre reconnaissance à tous les gens qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, en particulier Mr HENAOUI Mustapha .

• Dédicace •

*Je dédie ce mémoire,
à mes chers parents, Pour leur patience, leur
soutien et leur Encouragement.*

à mes frères et ma sœur .

*Toute la famille BENAZZOUI, mon fiancé, mes
amies et mon binôme CHALABI BACHIR .*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du
Primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

*à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici la
traduction de ma gratitude et ma reconnaissance.*

Ahlem

• Dédicace •

À ma mère, pilier de ma vie, source d'amour et d'inspiration inépuisables, je dédie ce mémoire en signe de reconnaissance infinie pour ton soutien indéfectible .

À mon père, dont le souvenir précieux m'accompagne chaque jour, je dédie ce travail en hommage à sa mémoire aimante et à ses sages conseils qui ont guidé mes pas.

À mon frère et à ma sœur, mes chers complices et confidents, je dédie ce mémoire en témoignage de notre l'encouragement mutuel que nous nous apportons.

À mon oncle Moussa et à ma tante Malika, dont la bienveillance et le soutien m'ont toujours entouré, je dédie ce mémoire en signe de gratitude profonde pour leur affection constante.

À mon cher voisin Amri , je dédie ce mémoire en reconnaissance de sa générosité et de son aide précieuse tout au long de mon parcours.

À l'âme de mon grand-père, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis, je dédie ce mémoire en hommage à sa mémoire bénie et à sa sagesse inestimable.

À toute ma famille, source de force et d'amour inconditionnel, je dédie ce mémoire en signe de reconnaissance pour leur présence constante et leur soutien indéfectible.

Bachir

Résumé

L'objectif de ce travail est de construire un modèle numérique 2D qui est capable de prédire le comportement thermique et dynamique d'un plancher chauffant hydraulique. Pour cela une modélisation thermo- hydrique bidimensionnelle est proposée avec la prise en compte de l'évolution temporelle de la réponse thermique du plancher chauffant dans différentes conditions de travail, La simulation numérique du plancher chauffant hydraulique a été effectuée par le code de calcul *Fluent* 6.3.2. Pour déterminer les champs de températures au niveau du plancher chauffant en régime instationnaire, basée sur la résolution de l'équation de la diffusion de la chaleur en deux dimensions.

Plusieurs simulations numériques ont été effectuées avec des échangeurs cylindriques remplis d'eau qui passe à travers le plancher en béton pour diffuser la chaleur durant les périodes hivernaux. Une comparaison entre différents types de configurations ainsi que l'effet de la vitesse d'eau sur le transfert de chaleur ont été présentés.

Mots-clés : Plancher chauffant ; Confort thermique ; Simulation numérique ; Chauffage.

Abstract

The objective of this work is to build a 2D numerical model that is able to predict the thermal and dynamic behavior of a hydraulic under floor heating. For this purpose, a two-dimensional thermo-water modelling is proposed taking into account the temporal evolution of the thermal response of the heating floor under different working conditions,

The numerical simulation of the hydraulic under floor was carried out by the calculation code *Fluent* 6.3.2. To determine the temperature fields at the floor heating in unsteady mode, based on the resolution of the equation of heat diffusion in two dimensions.

Several numerical simulations were carried out with cylindrical exchangers filled with water that passes through the concrete plank to diffuse the heat during the winter periods. A comparison between different types of configurations and the effect of water velocity on heat transfer was presented.

Keywords: Under floor heating; Thermal comfort; Numerical simulation; Heating.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو بناء نموذج رقمي ثنائي الأبعاد قادر على التنبؤ بالسلوك الحراري والديناميكي للتدفئة تحت الأرضية الهيدروليكية. ولهذا الغرض، يقترح وضع نمذجة ثنائية الأبعاد للمياه الحرارية مع مراعاة التطور الزمني للاستجابة الحرارية للأرضية التدفئة في ظل ظروف عمل مختلفة.

تم إجراء المحاكاة العددية للأرضية الهيدروليكية بواسطة رمز الحساب *Fluent* 6.3.2 تحديد حقول درجة الحرارة في تسخين الأرضية في وضع غير مستقر، بناءً على دقة معادلة انتشار الحرارة في بعدين.

تم إجراء العديد من عمليات المحاكاة العددية باستخدام مبادلات أسطوانية مليئة بالماء الذي يمر عبر اللوح الخرساني لنشر الحرارة خلال فترات الشتاء.

وعُرضت مقارنة بين مختلف أنواع التكوينات وتأثير سرعة الماء على نقل الحرارة.

الكلمات الرئيسية: التدفئة الأرضية؛ والراحة الحرارية؛ والمحاكاة الرقمية؛ التدفئة.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Table des matières	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Nomenclature générale	
Introduction Générale.....	1
Chapitre 01 : Confort Thermique et les modes De transferts de chaleur	
1.1 Introduction	3
1.2 Confort thermique.....	3
1.3 Différents paramètres de confort thermique	4
1.3.1 niveau d'activité.....	4
1.3.2 Résistance thermique du vêtement	5
1.3.3 Paramètres climatiques	5
1.3.4 Cas de l'Algérie	6
1.3.4.1 Différentes problématiques liées au confort thermique en Algérie	6
1.3.4.2 Solutions possibles	6
1.3.5 Plage de confort	7
1.3.6 Risques liées à l'inconfort	7
1.3.7 Schéma de diagramme de confort :	8
1.3.7.1 Diagramme bioclimatique.....	9
1.3.7.2 Diagramme de Givoni.....	10
1.3.7.3 Diagramme d'Olgay	11
1.3.7.4 Tables de Mahoney	12
1.3.8 Caractéristiques de l'air.....	12
1.3.9 Amélioration du confort thermique	13
1.3.10 Modes transfert de chaleur	14
1.4 Conclusion.....	18

Chapitre 02 : Généralités Sur les Systèmes De Chauffage

2.1 Introduction	20
2.2 Chauffage/refroidissement à air pulsé.....	20
2.2.1 Avantages du système de chauffage à air pulsé.....	21
2.2.2 Inconvénients du système de chauffage à air pulsé	21
2.3 Systèmes de chauffage radiant (par rayonnement).....	21
2.3.1 Avantages du chauffage radiant	22
2.3.2 Différents types de système de chauffage radiant :	22
2.3.2.1 Chauffage par radiateur	23
2.3.2.2 Planchers chauffants (Chauffage par le sol).....	23
2.3.2.2.1 Différents composants d'un plancher chauffant par le sol ...	24
2.3.2.2.2 Différents types de plancher chauffant	25
2.3.2.2.3 Avantages des planchers chauffants	34
2.3.2.2.4 Inconvénients des planchers chauffants	34
2.3.2.3 Plafonds chauffants rayonnants	34
2.3.2.3.1 Une solution originale	35
2.3.2.3.2 Plafond rayonnant par films chauffants d'ACSO	35
2.3.2.3.3 Le plafond rayonnant « TRESCOTHERM » de TRESCO ..	36
2.3.2.3.4 Les avantages du plafond chauffant.....	36
2.3.2.3.5 Les inconvénients du chauffage par le plafond	36
2.4 Chauffage individuel	39
2.5 Chauffage central	39
2.5.1 Avantages du chauffage central.....	40
2.5.2 Les inconvénients du chauffage central.....	41
2.6 Pompes à chaleur	41
2.7 Chauffage solaire	42
2.8 Conclusion.....	44

Chapitre 03. Modélisation Numérique d'un plancher chauffant

3.1 Introduction	46
3.2 Formulation du problème.....	47
3.2.1 Géométrie étudiée	47
3.3 Formulation mathématique du problème 2D	48
3.3.1 Hypothèses simplificatrices.....	48
3.3.2 Equation de conservation de masse	48
3.3.3 Conditions aux limites	50
3.4 Simulation numérique.....	51

3.4.1 Description du maillage et des paramètres de calcul	51
3.4.1.1 Lancement de Gambit	51
3.4.1.2 Création de la géométrie	53
3.4.1.3 Maillage et les conditions aux limites.....	54
3.4.2 Lancement du fluent	56
3.4.2.1 Importation de la géométrie	57
3.4.2.2 Les conditions aux limites	58
3.4.2.3 Contrôle solution	61
3.4.2.4 Solution initialisation.....	62
3.4.2.5 Evolution des résidus de calcul	63
3.5 Conclusion.....	64

Chapitre 04. Résultats et Interprétations

4.1 Introduction	66
4.2 Maillage	66
4.3 Résultats et discussions	67
4.3.1 Evolution des champs de température dans le tube :.....	67
4.3.2 Evolution des champs de température dans le planchéé :.....	69
4.3.3 Lignes de courants	71
4.4 Distribution de la température en fonction des vitesses	73
4.5 Conclusion.....	76
Conclusion Générale	78
Références Bibliographiques	80
Perspectives.....	83

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Chapitre 01 : Confort Thermique et les modes De transferts de chaleur		
1.1	Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires	05
1.2	Plage de confort température-humidité	07
1.3	Plages de confort pour une activité de bureau et un habillement d'été ou d'hiver, selon l'ASHRAE Handbook of Fundamentals Confort Model, 2005 superposées au climat de Bruxelles	08
1.4	Diagramme bioclimatique	09
1.5	Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni	11
1.6	Diagramme bioclimatique Olgyay	12
1.7	Modes transfert de chaleur	16
1.8	Coefficient de transmission surfacique d'une paroi	17
Chapitre 02 : Généralités Sur les Systèmes De Chauffage		
2.1	système de chauffage à air pulsé	20
2.2	système de chauffage radiant	22
2.3	Radiateur à eau chaude domestique	23
2.4	Différents éléments d'un plancher chauffant	25
2.5	réseau de tubes d'un plancher chauffant hydraulique	26
2.6	Tubeen PEX-Al-PEX	27
2.7	formation de boue dans un tube en Polyéthylène	28
2.8	Tube en PERT muni d'une barrière anti oxygène	28
2.9	pompe à chaleur	30
2.10	chaudière	30
2.11	chauffe-eau solaire	31
2.12	Configuration possible pour la disposition du réseau de tube	32
2.13	Film chauffant électrique	33
2.14	câble chauffant électrique	33
2.15	Exemple de Plancher chauffant électrique	34
2.16	Film chauffant Dyna Flex-ACSO	35
2.17	Plafond rayonnant modulaire Trescotherm-B-Tresco	36
2.18	pôles à gaz source : www.condor.dz	37
2.19	convecteur électrique	38
2.20	schéma de principe du chauffage individuel	39
2.21	schéma de principe du chauffage central	40
2.22	Cycle de la pompe à chaleur	42
2.23	Panneaux solaire Thermique	43

Chapitre 03. Modélisation Numérique d'un plancher chauffant		
3.1	Modèle physique étudié	47
3.2	Lancement de Gambit	52
3.3	Outils de Gambit	53
3.4	Création de la géométrie	54
3.5	Choix de maillage final	55
3.6	choix des conditions aux limites	55
3.7	Exportation du maillage	56
3.8	Enregistrement du fichier	56
3.9	lancement Fluent	57
3.10	Importation de la géométrie	57
3.11	Activation de l'équation de l'énergie	58
3.12	Activation de l'équation de l'énergie	58
3.13	Activation de régime laminaire	59
3.14	Définition des matériels	59
3.15	Définition des matériaux	60
3.16	les conditions aux limites	60
3.17	vitesse d'entrée 0.7m/s	61
3.18	température d'entrée	61
3.19	Choix d'ordre d'équation	62
3.20	Initialisation de solution	62
3.21	Choix du pas du temps et le nombre d'itération	63
3.22	Nombre d'itération	63
Chapitre 04. Résultats et Interprétations		
4.1	Maillage de la géométrie étudiée	66
4.2	Evolution du champ de température dans le tube en fonction du temps	67
4.3	Evolution des températures entrée - milieu et sortie de la dalle	68
4.4	Evolution des champs de température dans le planché	71
4.5	Contour des lignes de courant pour la configuration de vitesse $v=0.7\text{m/s}$	72
4.6	Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses	73
4.7	Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses	74
4.8	Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses	74
4.9	Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses	75

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre 03: Modélisation Numérique d'un plancher chauffant		
3.1	Propriétés de l'eau	48
3.2	Propriétés thermiques de béton	48

Nomenclature générale

Symboles Grandeurs Unités

dQ : Flux de chaleur transmis par conduction [W]

λ : Conductivité thermique du milieu [W/m.c]

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur [m²]

Φ : Flux de chaleur transmis par convection [W]

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection [W m⁻² C⁻¹]

T_s : Température de surface du solide [°C]

T_a : Température du fluide loin de la surface du solide [°C]

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement [W]

σ : Constante de Stefan = $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W.m⁻² .K⁻⁴]

ε : Facteur d'émission de la surface

T_s : Température de la surface [K]

T_a : Température du milieu environnant la surface [K]

S : Aire de la surface [m²]

R_{th} : somme des résistance thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi [en m². °C/W]

h_i : Coefficient intérieur d'échanges superficiels [W/m².°C]

h_e : Coefficient extérieur d'échanges superficiels [W/m².°C]

R_i : la résistance thermique de la couche i [m². °C/W]

e_i : l'épaisseur de la couche de matériau [m]

λ_i : la conductivité thermique du matériau [W/m.°C]

t : temps [s]

u : La Vitesse [m/s]

v : La Vitesse [m/s]

ρ : La Masse Volumique [Kg/m³]

P : Pression [pas]

T : Température [K]

g : La constante de la Gravité [m/s²]

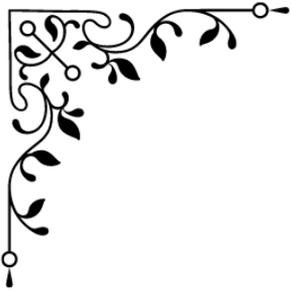
C_p : Chaleur Spécifique [J/Kg.K]

q_m : Débit massique [kg/s]

Lettres Gracques

μ : viscosité dynamique [Kg/ m .s]

β : Coefficient de la dilatation



Introduction

Générale



Introduction Générale

Introduction Générale

Environ 80 %, de la consommation d'énergie en Algérie est dédiée au chauffage et au refroidissement des bâtiments. Pour répondre à ces besoins, des systèmes mécaniques de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) sont utilisés. L'objectif premier de ces systèmes est d'assurer le confort des occupants en termes de température et de qualité de l'air. Par conséquent, chaque zone desservie par ces systèmes doit recevoir un débit d'air spécifique à une température désignée, incluant un certain pourcentage d'air frais, afin de contrebalancer les différents gains ou pertes thermiques subis. Ce concept est communément appelé les charges de bâtiments. Les systèmes de plancher chauffant sont souvent intégrés à des systèmes CVC complets pour assurer un contrôle optimal du climat intérieur.

Ces derniers temps, on constate un regain d'intérêt pour les planchers chauffants, principalement en raison du confort qu'ils procurent grâce à une répartition homogène de la chaleur. de plus, leur efficacité énergétique les distingue des autres systèmes de chauffage, car la chaleur est principalement rayonnée dans l'espace de vie, à la manière d'un radiateur traditionnel. Cependant, le plancher chauffant couvre une surface nettement plus grande qu'un radiateur, ce qui permet d'abaisser la température de l'eau pour chauffer efficacement une maison. selon l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'intégration d'un plancher chauffant permet de réduire la consommation énergétique d'une maison de 15 %, c'est la raison pour laquelle les planchers chauffants seront le principal objet d'étude dans ce projet.

L'objectif principale de ce travail est l'étude du comportement thermique des plancherschauffants dans différentes conditions et de configuration des vitesses. Pour atteindre nos objectifs , ce mémoire a été structuré comme suit :

- Une introduction générale.
- Une partie développement constituée de :
 - ✓ **Chapitre 01:** Confort thermique et les modes de transfert de chaleur .
 - ✓ **Chapitre 02:** Généralités sur les systèmes de chauffage ,
 - ✓ **Chapitre 03 :** Modélisation numérique d'un plancher chauffant .
 - ✓ **Chapitre 04 :** Résultats et interprétations .
- Une conclusion générale.



Chapitre 01.

Confort Thermique et les modes De transferts de chaleur



Chapitre 01 : Confort Thermique et les modes De transferts de chaleur.

1.1 Introduction

Le confort thermique est une notion subjective qui désigne l'état d'esprit d'une personne satisfaite de son environnement thermique. Il est influé par plusieurs facteurs, dont la température ambiante, l'humidité, la vitesse de l'air et la température de surface des parois, les modes de transferts thermiques jouent un rôle crucial dans le confort thermique. Ils permettent à la chaleur de se déplacer d'un corps à un autre, et peuvent être classés en trois catégories :

- ▶ **Conduction** : Transfert de chaleur par contact direct entre deux corps. Exemple : Toucher une casserole chaude.
- ▶ **Convection** : Transfert de chaleur par le mouvement d'un fluide (liquide ou gaz). Exemple : L'air chaud monte dans une pièce.
- ▶ **Rayonnement** : Transfert de chaleur par émission d'ondes électromagnétiques. Exemple : Se réchauffer au soleil.

Comprendre les modes de transferts thermiques est essentiel pour :

- Concevoir des bâtiments confortables : Choisir des matériaux isolants, installer un système de chauffage/climatisation adéquat, etc.
- Choisir des vêtements adaptés : Porter des vêtements chauds en hiver et des vêtements frais en été.
- Améliorer son confort au quotidien : Savoir comment se protéger du soleil ou du froid, etc.

Ce chapitre abordera les différents aspects du confort thermique et des modes de transferts thermiques. Comprendre les modes de transferts thermiques permet de mieux gérer son environnement thermique et d'améliorer son confort au quotidien.

1.2 Confort thermique

Afin de comprendre comment évaluer le confort thermique, et si nécessaire l'améliorer, il est important de donner une définition du confort thermique.

Suite à une étude de la littérature, plusieurs définitions du confort thermique ont été données basées sur la considération de l'humain comme objet physique, machine thermique autorégulatrice ou personne active affectée par ses sensations (Moujalled. B, 2007), Claude-

Alain Roulet estime que le confort thermique est un état de bien-être universel et stable (Roulet, 2004), qui se définit comme : « La satisfaction exprimée par l'ambiance thermique du milieu environnant ».

Jean-Yves Charbonneau. (Givoni.B, 1978) La différence entre ces définitions dépend de l'aspect considéré. Ce sont des aspects physiques, sensoriels et psychologiques.

La notion de confort thermique dépend du contexte et des caractéristiques individuelles. Il s'agit d'un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques (Moujalled, 2007), alors qu'elle est une notion évolutive dans le temps et varie selon les géographies et les sociétés. (Mazouz.S, 2012). une autre approche, définie par Slater consiste considérer le confort comme « un état plaisant d'harmonie physiologique, psychologique et physique entre un être humain et son environnement ». Cette définition permet d'introduire le critère psychologique qui est selon l'auteur, des critères indispensables pour se différencier de l'état de neutralité. (Gallissot, 2012). [1]

1.3 Différents paramètres de confort thermique

Il est défini comme un état de satisfaction d'un individu vis-à-vis de son environnement thermique. La perception du confort thermique est subjective et dépend de plusieurs facteurs :

1.3.1 Niveau d'activité

L'activité est un paramètre important de la sensation thermique individuelle, définissant La quantité de chaleur produite par le corps humain correspond au métabolisme de l'individu. Des niveaux d'activité très élevés peuvent provoquer un inconfort Même dans des conditions météorologiques très favorables, il peut faire chaud. [2]

C'est l'énergie qui convertit les aliments consommés en éléments corporels (protéines et tissus), ainsi qu'en eau, dioxyde de carbone et divers déchets. Cette énergie générée permettra à l'individu d'effectuer des efforts physiques .Ainsi que, le corps humain produit de la chaleur pour la maintenir à environ 36,7°C. (Roulet, C.A. 2004). l'intensité du travail musculaire entraîne la production d'une grande quantité de chaleur. (Le Guay, M. s.d.). Le métabolisme est exprimé comme la quantité d'énergie physique dépensée dans une activité et est lié à l'unité de surface corporelle de l'individu (w/m^2). (Benlatreche.T, 2006)

L'équilibre entre le métabolisme interne, le travail physique et les pertes environnementales externes aboutit à la stabilisation de la température interne du corps. (Belmaaziz. M, 2011-2012). [1]

1.3.2 Résistance thermique du vêtement

Le vêtement (H) est la résistance thermique à l'échange thermique entre la peau et l'environnement. (Belmaaziz.M, 2011-2012). Sous la couche de vêtements, une zone tampon est créée avec son propre microclimat grâce à une température, une humidité et une vitesse de vent spécifiques. Cette dernière repose toujours sur une ventilation naturelle sous cette couche (effet de pompe). (Boutaba, 2007). Les propriétés isolantes des vêtements, leur capacité à réfléchir le rayonnement incident et leur capacité à absorber la vapeur d'eau produite par la peau facilitent ou entravent la thermorégulation. (Boutaba, 2007). Pour faciliter l'estimation de la génération de chaleur, Par échange : Les différentes couches d'air contenues dans les vêtements, Chaque type de vêtement est mesuré par une valeur relative exprimée en clo1(Benlatreche.T. T, 2006). [1]

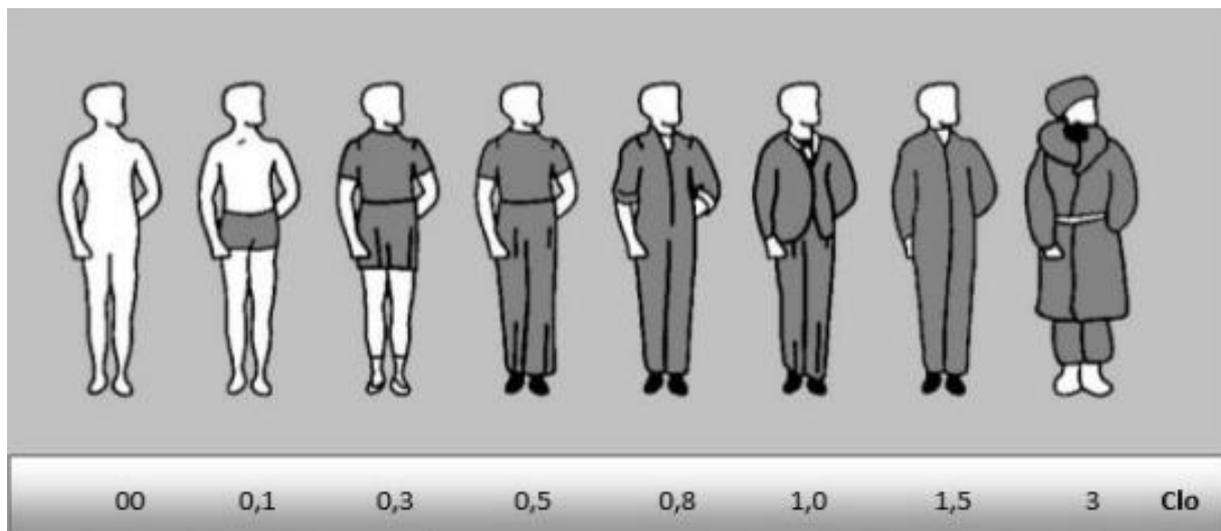


Figure (1.1) : Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires [2]

1.3.3 Paramètres climatiques

Le climat a un impact significatif sur la santé humaine et la durée de vie. Huttington (1924) fut l'un des premiers à énumérer les effets du climat sur le développement de la civilisation. La conclusion générale est que la santé humaine est optimale à une température et une humidité relative données ; Markham (1947) a démontré que des conditions climatiques idéales étaient associées à l'émergence des premières civilisations en Égypte, à Sumer et en

Palestine, et qu'il devait y avoir eu des phénomènes climatiques importants. La corrélation. Conditions climatiques prévalant sous ces latitudes. Certaines études suggèrent que les humains sont incapables d'atteindre des niveaux d'intelligence dans des conditions climatiques difficiles. Sur cette question, l'exemple européen est instructif.

Certaines recherches suggèrent que l'Europe n'a pris conscience de la possibilité de parcourir le chemin de la modernité qu'après avoir développé des méthodes de chauffage avancées qui lui permettaient d'assurer le minimum de confort dans les conditions difficiles d'un climat tempéré. (Rayner Banham, The architecture of the well-tempered environment). [3]

1.3.4 Cas de l'Algérie

Le confort thermique en Algérie est un sujet complexe et crucial, le climat méditerranéen et les caractéristiques architecturales des bâtiments traditionnels posent des défis importants en matière de confort thermique.

1.3.4.1 Différentes problématiques liées au confort thermique en Algérie

- Climat
- Typologie des bâtiments
- Problèmes liés au confort thermique

1.3.4.2 Solutions possibles

- Amélioration des performances thermiques des bâtiments.
- Adoption de réglementations et d'incitations pour la construction bioclimatique .
- Sensibilisation des populations et des professionnels du bâtiment .

L'amélioration du confort thermique en Algérie est un défi important qui nécessite une approche multiforme et une collaboration entre les différentes parties prenantes. Investir dans l'architecture bioclimatique est une solution prometteuse pour assurer le confort des logements, réduire la consommation énergétique et Initiatives contre le changement climatique.

1.3.5 Plage de confort

La plage de confort correspond aux niveaux de température et d'humidité qui sont les plus confortables pour les personnes dans l'environnement donné. Cette plage se situe généralement entre 20-22 degrés Celsius et 40-60% d'humidité relative. Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme suivant [4] :

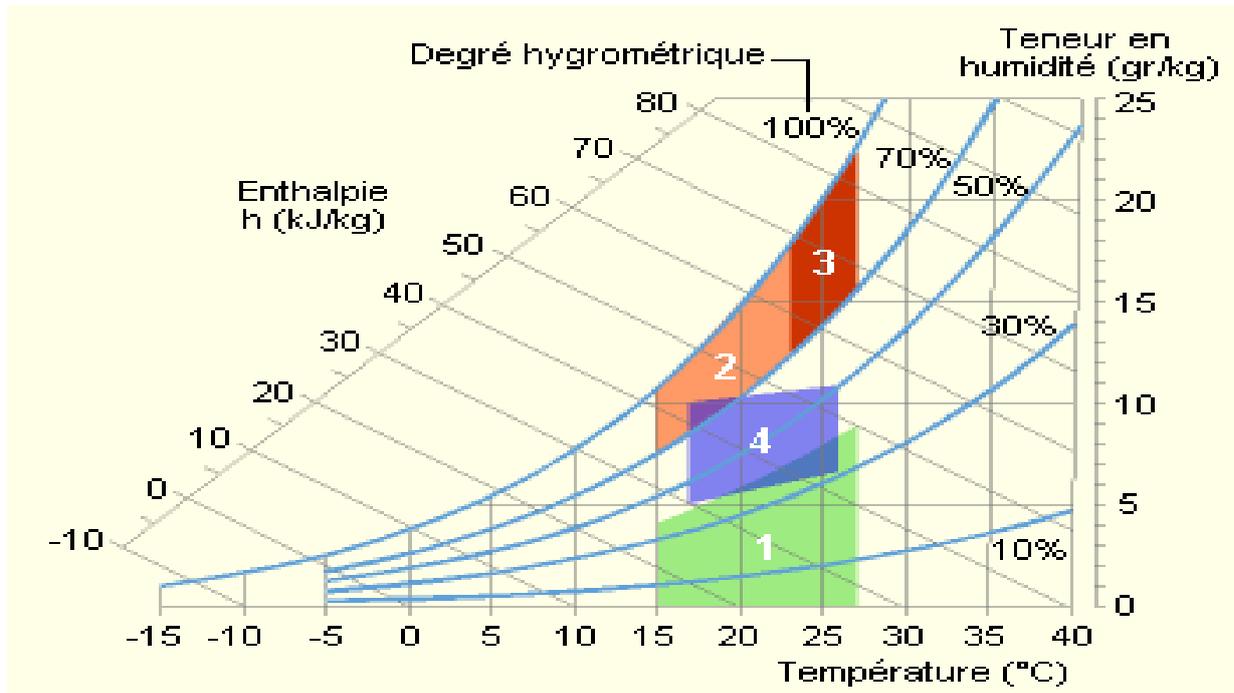


Figure (1.2) : Plage de confort température-humidité [4]

1. **Zone 1** : zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
2. **Zones 2 et 3** : zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et demicrochampignons.
3. **Zone 3** : zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
4. **Zone 4** : polygone de confort hygrothermique.

1.3.6 Risques liées à l'inconfort

Si le confort thermique n'est pas atteint, des risques pour la santé et la sécurité peuvent résulter :

a) Risques liés au froid

Hypothermie, Engelures, Accidents du travail.

b) Risques liés à la chaleur

Coup de chaleur, Déshydratation, Fatigue.

c) Autres risques

Stress, Problèmes respiratoires Les voies respiratoires peuvent être perturbées par l'air sec et chaud, ce qui peut causer des problèmes de respiration. [5]

1.3.7 Schéma de diagramme de confort

On peut mentionner le diagramme bioclimatique d'Olgay (Olgay, 1963) et celui de Givoni (Givoni, 1992). la table de Mahoney et la méthode de Szokolay. Le principe consiste à faire une comparaison sur un même schéma, le « polygone de confort », représentant les conditions extérieures ainsi que les zones affectées par la chaleur et l'humidité de certaines solutions constructives ou de certains équipements [6].

Dans la section suivante, nous nous concentrerons sur les diagrammes de Givoni et Olgay et les tableaux de Mahoney.

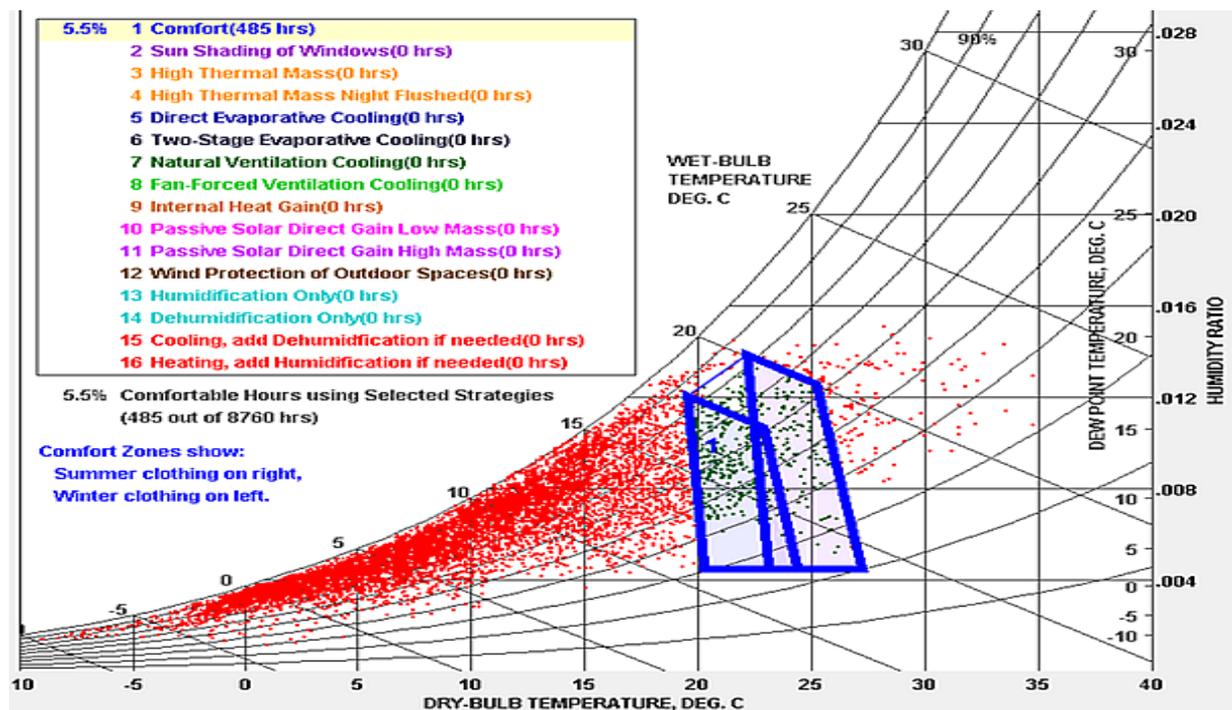


Figure (1.3) :Plages de confort pour une activité de bureau et un habillement d’été ou d’hiver, selon l’ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model, 2005 superposées au climat de Bruxelles. [5]

1.3.7.1 Diagramme bioclimatique

Le diagramme bioclimatique est un outil global pour aider à prendre des décisions éclairées concernant les projets qui déterminent l'étendue nécessaire pour mettre en œuvre des options clés Comme le manque de chaleur, la ventilation uniforme et le refroidissement par évaporation ou le refroidissement. les climatiseurs, qui sont basés sur un diagramme psychrométrique (également appelés diagrammes d'air humide).[7]

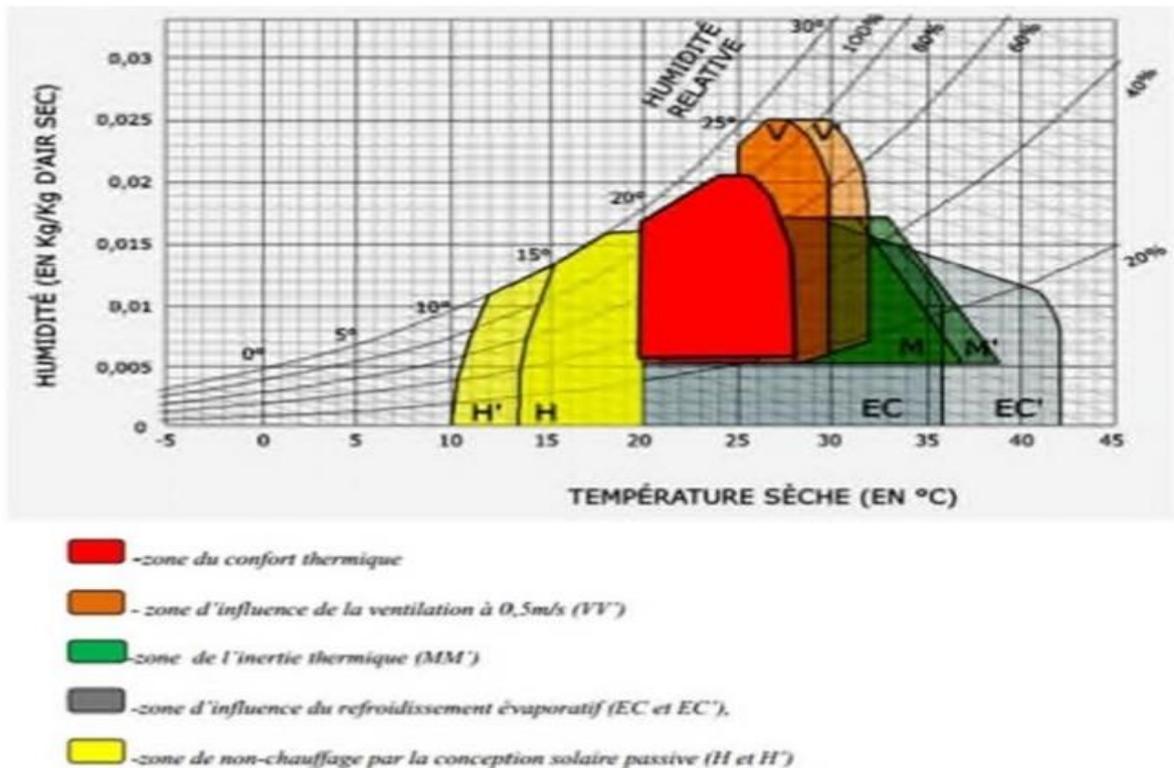


Figure (1.4): Diagramme bioclimatique [7].

Sur ce diagramme sont représentées :

- ❖ La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été [8].
- ❖ L'extension de la zone de confort hygrothermique que due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5m/s.
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire.

- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation.
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air.
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

Lorsque les conditions climatiques diffèrent du polygone de confort, le diagramme bioclimatique indique la distance séparant ces conditions des limites du polygone. Les solutions constructives et fonctionnelles qui doivent être adoptées lors de la conception d'un bâtiment adapté : ventilation, inertie thermique, ombrage, utilisation de systèmes passifs. Cette approche graphique permet de voir clairement certaines des techniques pouvant être utilisées pour améliorer le confort dans un bâtiment.

1.3.7.2 Diagramme de Givoni

Givoni (1978) a remis en cause le diagramme d'Olgay du fait que l'application de cette méthode est valable juste pour les climats chauds et humides et les constructions légères seulement. Le diagramme bioclimatique est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide). Il prend en compte l'individu en état d'activité. En utilisant des principes architecturaux, Givoni a démontré à travers son diagramme bioclimatique que l'impact des variations climatiques externes peut être minimisé. Il a ensuite créé un outil décrivant les zones thermo-hygométriques et les méthodes permettant d'atténuer les défis liés au climat par des solutions architecturales ou techniques. Ces informations sont représentées visuellement sur un diagramme psychrométrique ou bioclimatique, comme le montre la publication de Givoni « l'homme, Architecture, Climat » .[9]

La zone de confort est située au centre, les zones extérieures à cette zone sont subdivisées en zones secondaires, et les auteurs proposent différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. Givoni applique des exigences de confort universelles dans le développement de ses zones climatiques. sa température de zone de confort est comprise entre 20 et 27°C. autrement dit, il croyait que tous les gens, quelle que soit leur latitude, réagissaient au confort de la même manière.[10]

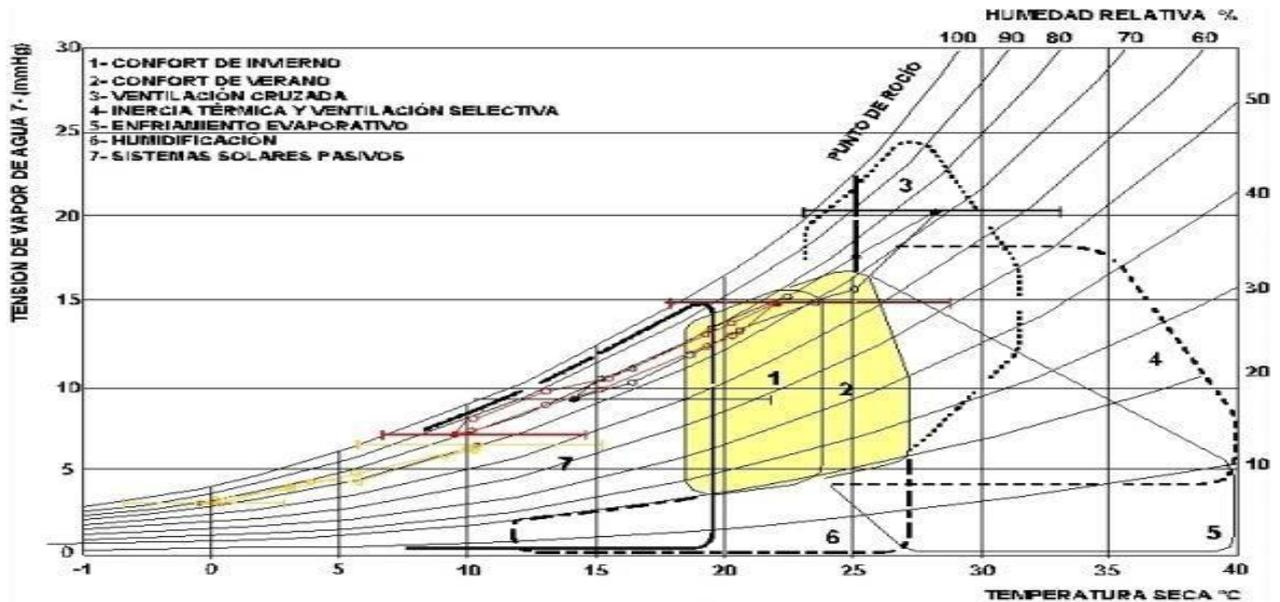


Figure (1.5) : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni [10]

1.3.7.3 Diagramme d'Olgyay

La méthode est basée sur des cartes bioclimatiques qui mettent en évidence les zones de confort humain liées à la température extérieure, à l'humidité, à la température radiante moyenne, à la vitesse du vent, au rayonnement solaire et aux pertes de chaleur par évaporation. Cette méthode suppose que le confort thermique ne peut pas être estimé à partir des seuls paramètres de température de l'air, mais implique plusieurs facteurs tels que l'humidité et la vitesse du vent, et constitue une approche systématique pour adapter la conception des bâtiments aux besoins humains et aux conditions climatiques. Cependant, l'application de ce système est limitée. Parce que l'analyse des besoins physiologiques se base sur le climat extérieur et non sur le climat attendu à l'intérieur du bâtiment.

Cette méthode convient aux bâtiments où les changements de température interne sont étroitement liés aux températures extérieures. cette méthode convient aux applications dans les zones humides où les conditions intérieures et extérieures sont légèrement différentes (Givoni, 1992).[6]

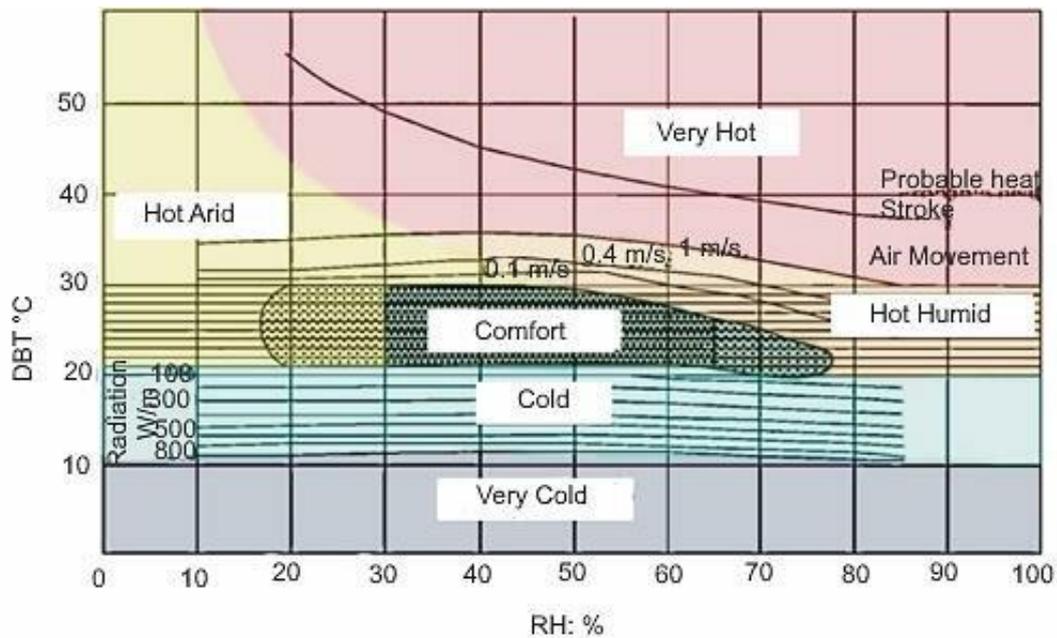


Figure (1.6) : Diagramme bioclimatique Olgay [6]

1.3.7.4 Tables de Mahoney

Les tables de Mahoney sont une série de tables de référence (d'architecture utilisées comme guide pour concevoir des bâtiments adaptés aux conditions climatiques.

Les exigences du confort sont groupées en (06) indicateurs [11] :

- ⊙ H1 : la ventilation indispensable (climat chaud et humide).
- ⊙ H2 : la ventilation souhaitée (climat chaud et sec).
- ⊙ H3 : la protection de la pluie nécessaire (climat tropical et tempéré).
- ⊙ A1 : l'inertie thermique (climat à grand écart diurne de température).
- ⊙ A2 : dormir dehors (climat chaud en été).
- ⊙ A3 : protection du froid.

Cet outil supplémentaire permet de définir les recommandations nécessaires pour améliorer le confort thermique dans le bâtiment.

1.3.8 Caractéristiques de l'air

Les propriétés caractéristiques de l'air sont les paramètres qui le définissent et qui peuvent être mesurées. Ces paramètres incluent :

a) Température de l'air

Il s'agit d'un premier facteur à contrôler. L'évaluation du bilan thermique d'un individu à l'échelle individuelle implique de considérer la température de l'air, également appelée

température ambiante (T_a), qui est un facteur crucial dans la détermination du confort thermique. Les échanges de chaleur par convection, conduction et respiration se produisent. Au sein d'une pièce, la température de l'air reste constante. Les températures de l'air peuvent varier entre différents plans, ainsi qu'à proximité de surfaces froides et de sources de chaleur [2].

b) Vitesse de l'air

La vitesse de l'air est importante dans les échanges convectifs et évaporatifs, car elle impacte directement sur la perception du confort thermique des occupants lorsqu'elle dépasse 0,2 m/s. Aussi le taux de renouvellement de l'air dans un local dépend lui aussi de la vitesse de l'air, en particulier, quand la ventilation naturelle est possible

c) L'humidité de l'air

L'humidité de l'air peut être exprimée de diverses manières : humidité absolue, humidité spécifique, humidité relative. Cette dernière correspond au rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur à la température ambiante, et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température.

1.3.9 Amélioration du confort thermique

a) Confort d'hiver

Afin d'améliorer le confort thermique pendant les mois d'hiver, il est nécessaire de réaliser des diagnostics thermiques des bâtiments et des équipements de chauffage. Les professionnels tels que les architectes, les ingénieurs et les bureaux d'études possèdent l'expertise nécessaire pour réaliser ces évaluations.

Proposer des solutions et réaliser des diagnostics sont des tâches essentielles. Plusieurs réponses instinctives servent de guides précieux dans la prise de décisions.

Parmi les actions suggérées :

- ✓ Privilégier l'isolation des combles avant les murs verticaux dans une résidence isolée (puisque la majorité des déperditions thermiques se font par la toiture).
- ✓ Privilégier l'isolation des combles par rapport aux murs verticaux dans une habitation unifamiliale (la première source de déperdition thermique se faisant par la toiture).
- ✓ Assurez-vous que la circulation de l'air est maintenue ou rétablie au sein de la résidence en cas de changement de conditions (comme la chaleur entrant par le toit).

- ✓ Afin d'assurer une bonne ventilation, il est essentiel d'avoir des fenêtres avec des entrées d'air et de permettre également à l'air de s'échapper du logement. Une façon d'y parvenir consiste à remplacer le simple vitrage par du double vitrage.
- ✓ Créer des lignes directrices pour la mise en œuvre de systèmes de chauffage.
- ✓ Vérifiez si vous pouvez modifier le mode de chauffage ou faire usage d'énergie.[12]

b) Confort d'été

Pour se protéger de la chaleur torride de l'été, les méthodes les plus répandues consistent à assurer une ventilation adéquate en ouvrant les fenêtres autant que possible (dans les zones avec un minimum de bruit et sans danger potentiel d'intrusion...).

- Utiliser l'inertie thermique du bâtiment, qui fait référence à sa capacité à emmagasiner la chaleur, pour maintenir une température fraîche la nuit et éviter une accumulation excessive de chaleur pendant la journée.
- Minimisez le gain de chaleur solaire à travers les portes et les fenêtres en installant des volets ou d'autres dispositifs d'ombrage stores.
- Pour maintenir les températures estivales en dessous d'un seuil prédéterminé, les architectes emploient trois techniques en tenant compte du climat spécifique de la région.
- Dans les endroits où les niveaux de bruit sont élevés et où il n'est pas possible d'ouvrir les fenêtres pour améliorer la circulation de l'air et la ventilation, les concepteurs utilisent des méthodes alternatives.
- L'installation de la climatisation est une solution viable pour améliorer le confort estival, surtout lorsque les possibilités de rafraîchissement nocturne sont limitées.[12]

1.3.10 Modes transfert de chaleur

Plusieurs facteurs interagissent dans l'équilibre thermique des bâtiments. Pour mieux comprendre le mécanisme de fonctionnement de ces paramètres, il est important de présenter les différents modes de transfert de chaleur

A) Conduction

Le processus de transfert de chaleur se produit au sein des composants solides d'un matériau, où l'énergie est transmise de manière séquentielle. La chaleur est transférée par contact

direct, circulant d'un environnement plus chaud vers un environnement plus froid. Pendant la saison hivernale, la chaleur générée dans une pièce sera transmise à la structure du bâtiment par contact et se dissipera progressivement vers l'extérieur.

On a la relation suivante [13] :

$$dQ = - \lambda. S. \frac{dT}{dx} dt \quad (1.1)$$

dQ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ : Conductivité thermique du milieu (W/m.c)

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

$\frac{dT}{dx}$: Gradient de température (K.m⁻¹)

B) Convection

Ce sont des échanges thermiques liés au mouvement de l'air autour du corps.

Ils deviennent plus intenses avec des vitesses plus élevées et des différences de température plus importantes dans la zone, il y a une distance énorme entre l'air et le corps.

On a la relation suivante [13]

$$\Phi = h.S (T_s - T_a) \quad (1.2)$$

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m⁻² C⁻¹)

T_s : Température de surface du solide (°C)

T_a : Température du fluide loin de la surface du solide (°C).

C) Rayonnement

Le rayonnement est un type de transfert de chaleur qui ne nécessite pas de support physique contre les deux autres. En fait, ce type de transfert de chaleur est provoqué par l'émission de rayonnement électromagnétique transfère de l'énergie. Ils sont composés d'une onde électromagnétique, comme le soleil, et chauffer le corps qui les reçoit, on a la relation suivante [13] :

$$\Phi = \epsilon. \sigma. s (T_s^4 - T_a^4) \quad (1.3)$$

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : Constante de Stefan (=5,67.10⁻⁸ W.m⁻² .K⁻⁴)

ε : Facteur d'émission de la surface

T_s : Température de la surface (K)

T_a : Température du milieu environnant la surface (K)

S : Aire de la surface (m²).

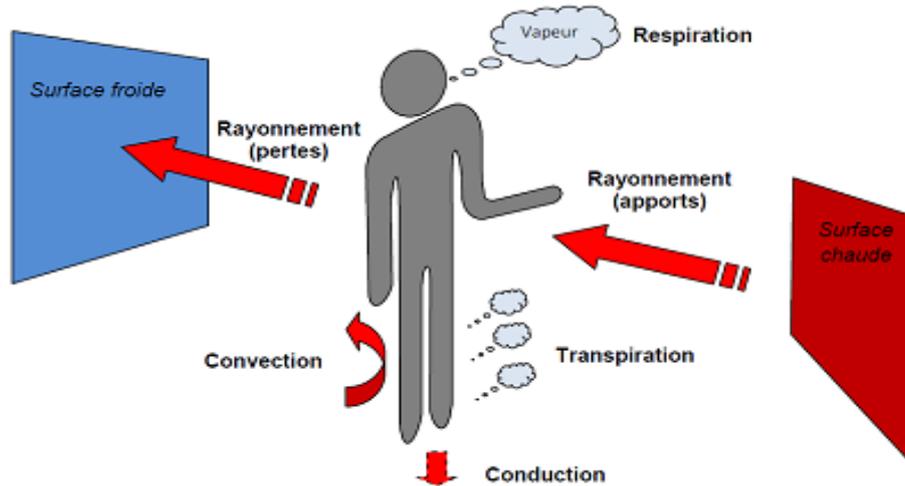


Figure (1.7) : Modes de transfert de chaleur

d) Coefficients de transmission surfacique (K)

Le flux de chaleur traversant la paroi dépend de la conductivité thermique globale de cette paroi, ou de sa capacité, par unité de surface, à résister à ce transfert d'énergie sous forme de chaleur.

Il correspond, par unité de surface en m², au débit énergétique (c'est-à-dire au nombre de Watt) qui s'écoule à travers cette paroi lorsqu'il y a une différence thermique de 1° K entre les deux faces de cette paroi. Plus sa valeur est faible et plus la paroi est isolée thermiquement.

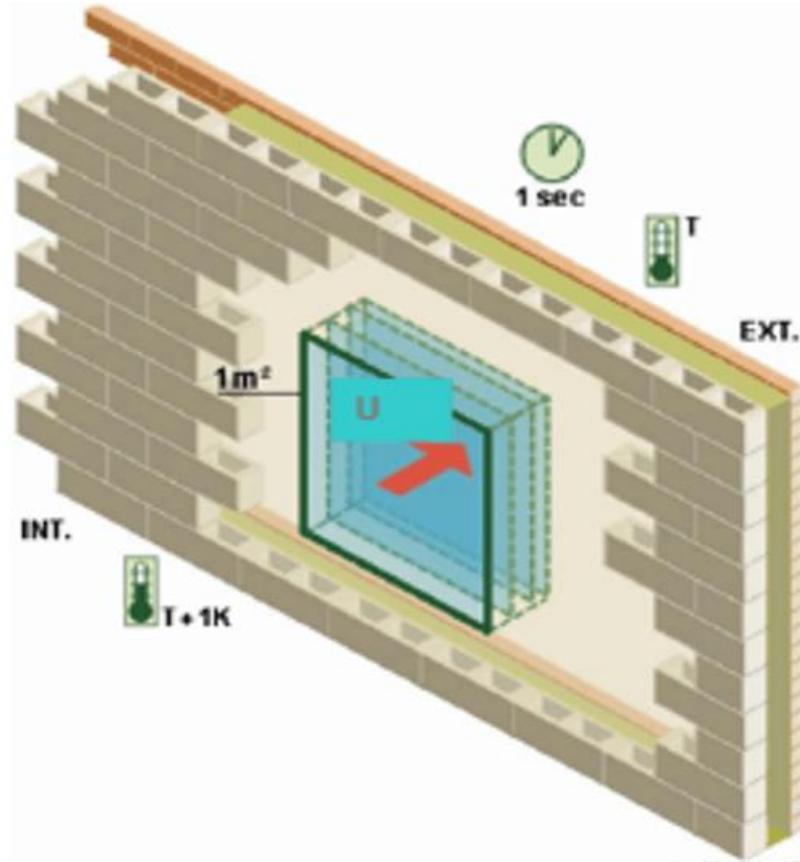


Figure (1.8) : Coefficient de transmission surfacique d'une paroi

Le coefficient de transmission surfacique est déterminé pour le mur, le sol, le toit de chaque étage, plus le coefficient de transfert de chaleur de la porte et de la fenêtre.

Ce coefficient est calculé par la formule :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\sum R_{th} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (1.4)$$

Où :

- R_{th} : (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la somme des résistance thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi.
- La somme $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la somme des coefficients d'échange superficiel, prise conformément aux conventions adoptées.

e) Résistance thermique d'un matériau

Elle est donnée par la formule suivante :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (1.5)$$

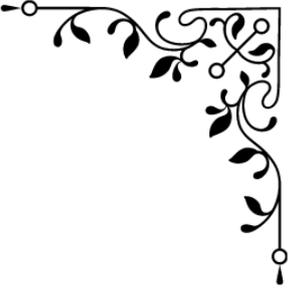
Où :

- R_i (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la résistance thermique de la couche i .
- e_i (en m) représente l'épaisseur de la couche de matériau.
- λ_i (en $W/m \cdot ^\circ C$) représente la conductivité thermique du matériau.

1.4 Conclusion

Dans cette première partie nous avons visé à définir les différentes notions utilisées et de les mettre en relation les unes avec les autres afin d'aboutir à un raisonnement cohérent.

On peut donc conclure que les concepts et la synthèse bibliographique que nous avons présenté dans ce premier chapitre sur la notion du confort de l'occupant vis-à-vis de l'ambiance thermique dépend de l'interaction entre plusieurs facteurs physiques, physiologiques et psychologiques. dans le chapitre suivant on va montrer les différents systèmes de chauffages qui assure le confort thermique en hiver .



Chapitre 02.
*Généralités Sur les Systèmes
De Chauffage*



Chapitre 02 : Généralités Sur les Systèmes De Chauffage

2.1 Introduction

Actuellement il existe plusieurs types de systèmes de chauffage pour les bâtiments résidentiel, tertiaire et industriel et chacun de ces types de chauffage peut se décliner en plusieurs versions. Certains de ces systèmes de chauffage peuvent aussi servir à la climatisation de l'espace de vie, connu sous le nom de HVAC system ou Heating Ventilation and Air conditionné. Voici un aperçu des systèmes de chauffage les plus couramment utilisés.

2.2 Chauffage/refroidissement à air pulsé

Le système de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC) est le plus couramment utilisé dans les maisons neuves, adoptant soit un cycle thermodynamique à l'aide d'une pompe à chaleur (compresseur, condenseur, détendeur et évaporateur), soit un foyer de combustion pour chauffer l'air. [14]

L'air chaud ainsi obtenu est ensuite orienté à l'intérieur de l'espace habitable à partir d'un ventilateur électrique.[14]



Figure (2.1) : système de chauffage à air pulsé [14]

2.2.1 Avantages du système de chauffage à air pulsé

- Un instrument de filtrage de l'air peut être placé sur les chauffages à air pulsé.
- Un instrument de vérification de l'humidité peut être placé sur les chauffages à air pulsé.
- L'instrument de chauffage de l'air (pompe à chaleur) est très raisonnable de point de vue économique.
- On peut utiliser ce système pour refroidir le logement. [14]

2.2.2 Inconvénients du système de chauffage à air pulsé

- Ce dispositif est tellement encombrant et énorme.
- La pompe à chaleur produit beaucoup de bruit.
- Sans filtration, l'air chaud entré dans le logement contiendra un taux élevé de particule allergène.
- En l'absence d'un système de vérification de l'humidité, l'air entré dans le logement sera sec.
- Les pannes sur la pompe à chaleur sont habituelles. [14]

2.3 Systèmes de chauffage radiant (par rayonnement)

Le chauffage radiant, s'appelle aussi panneau radiant, se distingue des convecteurs électriques qui utilisent juste l'air pour émettre de la chaleur dans une pièce. En fait, le chauffage radiant repose sur une technologie de réchauffage des corps situés près des radiateurs.

Par conséquent, un système de chauffage radiant émettra de la chaleur à la fois à partir de l'air et à partir de toutes des masses existant dans la pièce, telles que les personnes, les murs et les objets. Cette méthode de diffusion de la chaleur dans la pièce d'habitation créera une sensation de chaleur souple qui se propagera de manière moins brutale qu'elle peut le faire avec des convecteurs électriques.



Figure (2.2) : système de chauffage radiant

2.3.1 Avantages du chauffage radiant

- ✓ La répartition de la chaleur est très souple, comme un radiateur à inertie, et cette dispersion est uniforme.
- ✓ La chaleur se distribue uniformément du sol au plafond et n'assèche pas l'air ambiant, à l'opposé de la chaleur fourni par les convecteurs.
- ✓ Le chauffage radiant offre un confort indirect à cause de sa technologie intégrée. Ce type réchauffe les masses et les murs, réduisant ainsi l'humidité existe dans quelques pièces.
- ✓ Ce type de chauffage peut être employé pour chauffer des espaces extérieurs comme la terrasse qui sera bien cadré pour ce type de technologie.

2.3.2 Différents types de système de chauffage radiant

On trouve trois types de système de chauffage radiant :

- Chauffage par radiateur
- Chauffage par plancher chauffant.
- Chauffage par Plafonds chauffants rayonnants

2.3.2.1 Chauffage par radiateur

Il s'agit d'un système de chauffage par rayonnement le plus utilisé [14].

Il fonctionne via un système de chaudière centralisée qui chauffe l'eau et la transmet vers des unités de radiateur stratégiquement installées à l'intérieur de l'espace habitable.

Les radiateurs sont couramment des unités verticales mis à proximité des fenêtres. [14]



Figure (2.3) : Radiateur à eau chaude domestique [14]

Avantages du chauffage par radiateur

- En chauffant avec un radiateur, il n'y a pas de problème d'air sec comme le chauffage à air pulsé.
- Les systèmes dotés de chaudières modernes ont une très haute efficacité énergétique. [14]

Inconvénients du chauffage par radiateur

- A l'inverse de chauffage à air pulsé, le chauffage par radiateurs ne peut pas être employé pour refroidir le logement.
- Les unités de radiateur provoquent un grave engorgement à l'intérieur du logement. [14]

2.3.2.2 Planchers chauffants (Chauffage par le sol)

Le système de chauffage des immeubles par le sol, appelé plancher chauffant, assure la régulation de la température intérieure de l'espace habitant à réchauffer en employant des systèmes de vérification sur la base des équations qui gèrent les divers phénomènes de transfert

de chaleur (convection, conduction et radiation), dans le but d'obtenir un confort thermique pour les résidents.[14]

Les planchers chauffants en anglais sont désignés sous le terme « Under floor radiant heating », ce qui signifie littéralement « plancher chauffant radiatif ». Cela s'exprime du fait que le transfert de chaleur entre le plancher chauffant et l'environnement est principalement réalisé par radiation.[14]

Histoire

Le plancher chauffant a une histoire remontant au néolithique (12000 ans avant notre ère). Effectivement, des recherches archéologiques réalisées en Corée et en Alaska mettent en évidence que les premiers résidents de ces zones acheminaient les fumées produites par un incendie via des tranchées creusées au-dessous de leurs maisons. Les pierres du sol étaient chauffées par la fumée chaude, et la chaleur se diffusait après dans l'espace d'habitation.

Actuellement, on recourt des conduites à l'intérieur desquelles un liquide chaud circule ou des résistances électriques installées sous la chape.[14]

2.3.2.2.1 Différents composants d'un plancher chauffant par le sol

Le plancher chauffant est composé des constituants ci-dessous :

Dalle

En règle générale, elle est fabriquée en béton armé coulée directement sur le sol,

Dans le but de consolider le plancher bas de l'immeuble en dessus des fondations.[14]

La dalle, qui est assez compacte et rude, s'emploie pour la mise en place d'isolants et des réseaux d'électricité, d'eau et de chauffage. Ils seront revêtus dans Les pièces vivables de l'immeuble.

Couche d'isolation thermique ou acoustique

A pour objectif de diminuer les transmissions de chaleur des éléments chauffants envers la dalle.

Eléments chauffants

Ils comprennent un réseau de tuyau ou une résistance électrique.

Chape

C'est une couche de mortier sur la base de ciment, de résine ou de chaux Mis au sol, pour aplatir un support aussi pour recouvrir des éléments (tel que le plancher chauffant) afin d'installer les couches au- dessus, comme le carrelage, un sol souple ou un parquet flottant ou collé.[14]

Revêtements au sol

Peuvent inclure le carrelage, le parquet, l'ardoise, le granito, la moquette... etc.

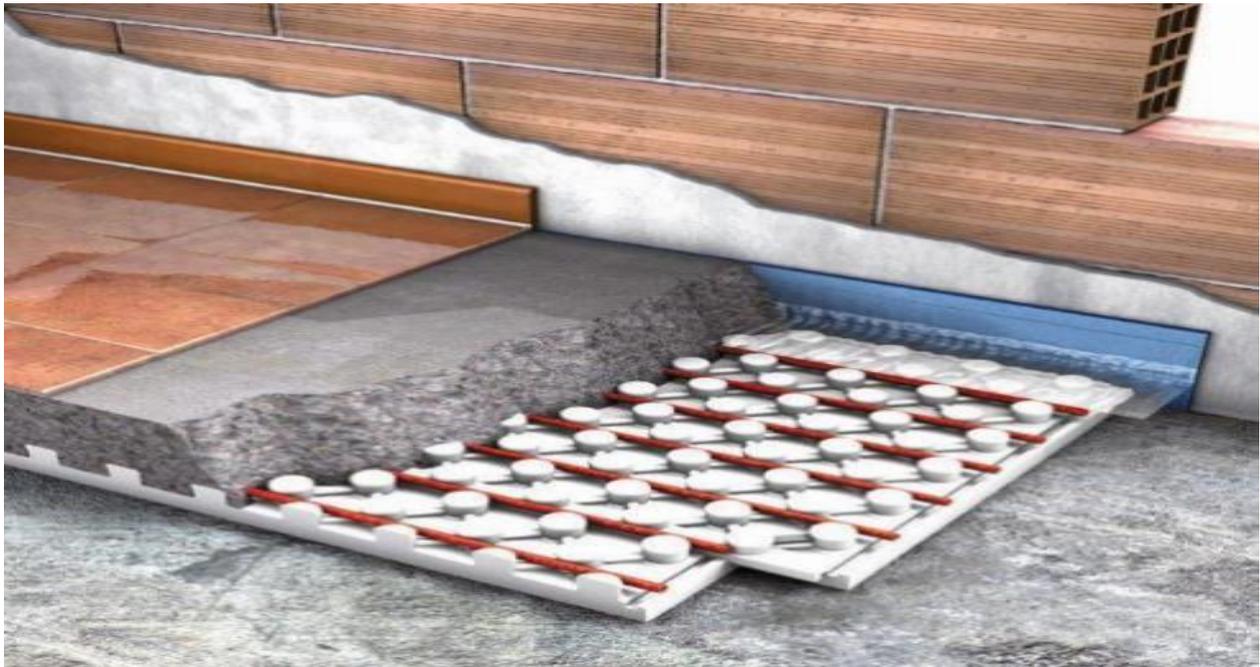


Figure (2.4) : Différents éléments d'un plancher chauffant [14]

2.3.2.2 Différents types de plancher chauffant

Il y a deux types différents de plancher chauffant :

- **Plancher chauffant hydraulique.**
- **Plancher chauffant électrique.**

A) Plancher chauffant hydraulique

a) Principe de fonctionnement

Les planchers chauffants hydrauliques sont équipés d'un réseau de tuyaux qui ont une forme de serpents dans lesquels tourne un fluide caloporteur (l'eau ou un mélange d'eau et d'antigel tel que le propylène glycol).[14]

On place les boucles de tuyaux de chauffage sur un isolant, après on les couvre utilisons une chape humide ou sèche. Le fluide caloporteur transmet une quantité de chaleur vers la chape par conduction via le tube. De même, la chape transmettra une quantité spécifique de chaleur à l'environnement par rayonnement et par convection.[14]



Figure (2.5) : réseau de tubes d'un plancher chauffant hydraulique [14]

b) Réseau detube

Concernant Les planchers hydrauliques contemporains, le tube où marche le fluide caloporteur est fabriqué le plus souvent des dérivés de polyéthylène tels que le PEX (polyéthylène réticulé), le PEX-Al-PEX (un tube construit d'une couche de PEX, d'une couche d'aluminium et d'une autre couche de PEX) aussi le PERT (Polyéthylène Raised Temperature afin de transmettre l'eau à une pression élevée de même à une température élevée).[14] .

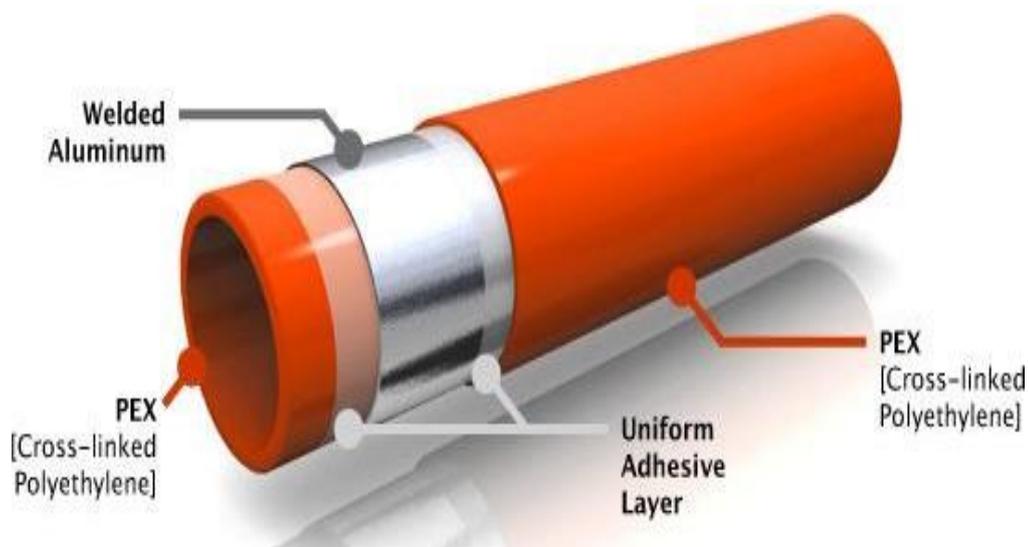


Figure (2.6) : Tube en PEX-Al-PEX.

Maintenant, la majorité des réseaux de tubes de plancher chauffant hydraulique sont équipés d'une barrière antioxygène BAO, pour restreindre la formation de boues.

Effectivement, l'ensemble des installations de chauffage central, font face à ce problème avec le temps et à des pourcentages différents.[14]

La corrosion des divers composants de l'installation, tels que les tuyaux, la chaudière, les émetteurs, les vannes, les circulateurs, etc. est la cause des boues qui se trouvent dans les circuits de chauffages domiciles.[14]

Les réactions d'oxydation sont associées à L'existence d'oxygène dans l'eau, et sont favorisées via la porosité du polyéthylène.

En fait, les tubes en polyéthylène (sans BAO) permettent entrera peu près 5 mg d'oxygène par mètre linéaire et par jour. Au cours d'une année, ceci peut entraîner une accumulation de boue pouvant atteindre 6,5 gr par ml.[14]



Figure (2.7) : formation de boue dans un tube en Polyéthylène

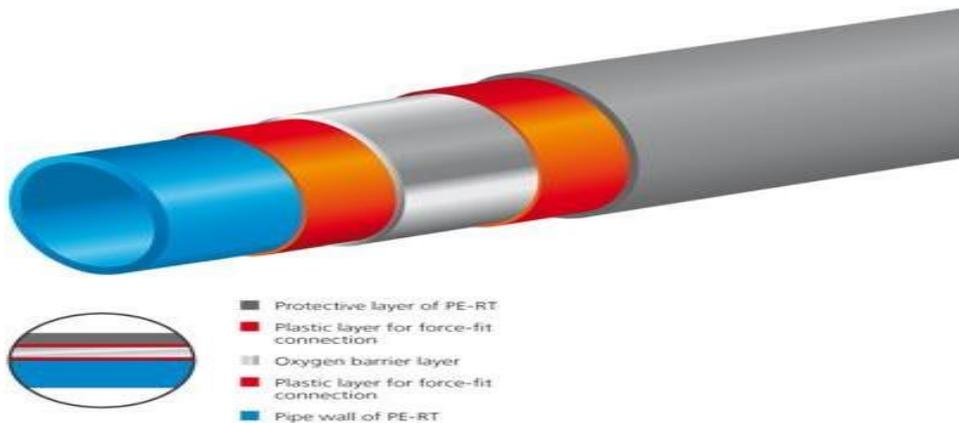


Figure (2.8) : Tube en PERT munid'une barrière anti oxygène

c) La dalle

En règle générale, elle est fabriquée en béton armé coulée directement sur le sol, dans le but de consolider le plancher bas de l'immeuble en dessus des fondations. La dalle, qui est assez compacte et rude, s'emploie pour la mise en place d'isolants et des réseaux d'électricité, d'eau et de chauffage. Ils seront revêtus dans Les pièces vivables de l'immeuble.[14]

d) différents types de chape

La chape peut nommer de différentes manières, d'après la méthode utilisée afin de la couler. Cette méthode, exactement comme les composants du béton de la chape, diffèrent en fonction du genre de revêtement de sol suivant ou l'existence de réseaux à enterrer sous la chape. Les diverses sortes de chapes comprennent :

- **Chapestraditionnelles**

En générale, les « chapes traditionnelles » ou « chapes de carreleur » sont composées d'un mortier modérément quantifié en ciment et placé sec comparativement.

Sous le contexte technique récent, les « chapes auto lissantes » ou « chapes liquides » Ou « chapes fluides » ou « chapes minces » sont mises en application via le pompage en règle générale Leur épaisseur est de 55 millimètres, on emploie l'anhydrite ou le ciment comme liant.[14]

Leur quantité en liant est très importante et elles sont adjuvantes pour assurer leur mise en œuvre, avec constamment des propriétés « auto lissantes ».[14]

- **Chape de ravoilage**

C'est la chape qui enveloppe et recouvre un réseau de plancher chauffant et/ou rafraîchissant, qu'il soit électrique ou à liquide.

Ce type de chape doit avoir les caractéristiques spécifiques pour transmettre la chaleur au revêtement de sol.[14]

- **Chapes flottantes**

Lorsqu'une chape est placée en haut d'une couche d'interposition, elle est appelée «flottante». Il peut s'agir d'un isolant thermique ou acoustique ou d'un film plastique (polyane).[14]

- **Chapes de compression**

Il s'agit d'une chape qui est coulée sur des hourdis (des structures horizontales composant l'armature d'un plancher) et pas sur une dalle.

Un plancher d'étage ou un plancher bas sur vide sanitaire peut être former de ce type de chape.[14]

e) Isolation thermique entre l'élément chauffant et la dalle

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

- XPS (polystyrène extrudé)
- PUR (mousse rigide en polyuréthane)
- PSE (polystyrène expansé haute densité)

Sont aussi employés :

- Les panneaux de laine minérale respectant les normes NF B 20-001 et 20-109 ainsi que les panneaux plastifiés.[14]

f) Mode de production de chaleur

On peut chauffer l'eau à partir d'une pompe à chaleur, d'une chaudière, de la géothermie ou encore d'un chauffe-eau solaire.[14]



Figure (2.9) : pompe à chaleur



Figure (2.10) : chaudière



Figure (2.11) : chauffe-eau solaire

g) Disposition optimale du réseau de tube

Les travaux scientifiques de *Robert Bean*. [14] effectués en 2010 sur une étude comparative entre différentes configurations possibles du réseau de tuyau d'un plancher chauffant hydraulique. [14]. Il a proposé les configurations possibles pour la disposition du réseau de tube.

La figure suivante présente les configurations en question :

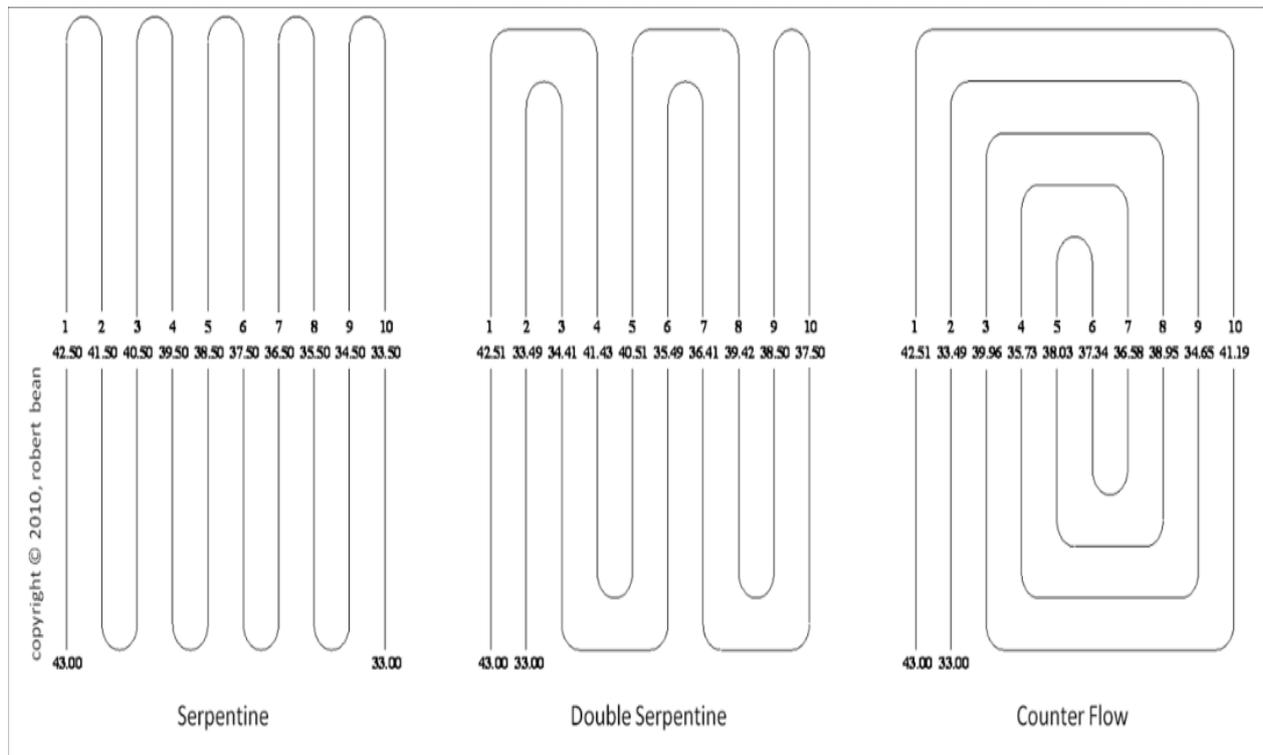
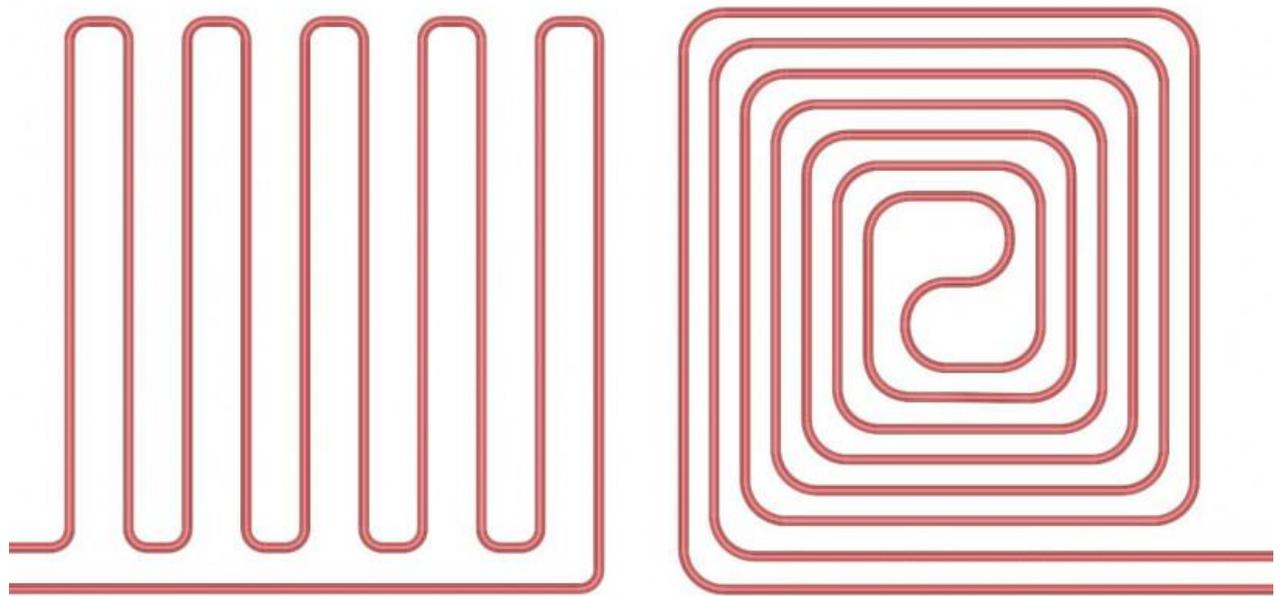


Figure (2.12) : Configuration possible pour la disposition du réseau de tube

B) Plancher chauffant électrique

a) Différents procédés

La majorité des systèmes de plancher chauffant emploient un câble chauffant, installé sur une isolation, ensuite couvert d'une chape de béton armée.

Il existe aussi des fabricants qui offrent un film chauffant basse tension.[15]



Figure (2.13) : Film chauffant électrique



Figure (2.14) : câble chauffant électrique

Le plancher chauffant électrique, également connu sous le nom de plancher rayonnant électrique.[14]



Figure (2.15) : Exemple de Plancher chauffant électrique

Remarque

Sauf le mode de production de la chaleur et l'élément chauffant, tous les autres constituants sont pareils pour un plancher chauffant hydraulique et pour un plancher chauffant électrique. [14]

2.3.2.2.3 Avantages des planchers chauffants

- La surface au sol et sur les murs est complètement libérée.
- C'est un processus silencieux (ne fait pas de bruit).
- La Propreté (il n'y a pas de poussière, ni de mouvement d'air).
- N'importe quel type de plancher chauffant, il permet d'éviter l'encombrement des murs et de l'espace créé par la mise en place des radiateurs au-dessous du sol, il est inobservable et permet de gagner de la superficie.
- Le mode de fonctionnement de ce genre de chauffage donne une distribution uniforme de la chaleur dans l'espace habitable, et garantit donc un bon confort que les autres systèmes de chauffage.
- Économie à peu près 15% est garanti par le plancher chauffant à cause de cette répartition homogène de la chaleur. [16]

2.3.2.2.4 Inconvénients des planchers chauffants

- La mise en place d'un plancher chauffant présente un investissement considérable lors de son achat. Cependant, il offre un rendement avantageux à long terme.
- On ne peut pas utiliser ce système pour tous les types de sols, Il est strictement interdit d'utiliser cela avec quelques planchers en bois et avec de la moquette.
- En augmentant la hauteur du sol de certains centimètres, le plancher chauffant peut causer des problèmes sur les portes. [16]

2.3.2.3 Plafonds chauffants rayonnants

2.3.2.3.1 Une solution originale

Ce système est une solution esthétique et confortable pour les pièces habitables qui ont une hauteur importante, Cette solution est plus coûteuse que le plancher électrique.

Pourtant, elle permet de libérer le sol des contraintes associées au choix du meuble, et surtout du revêtement de sol.[15]

2.3.2.3.2 Plafond rayonnant par films chauffants d'ACSO

Caractéristiques

Ce type est constitué d'un isolant plafond placé sur les films chauffants, d'un chauffage électrique par films rayonnants graphités, D'un plafond de plaques de plâtre, en lambris ou tendu, aussi d'un thermostat placé dans chaque pièce d'habitation et dirigé par une horloge de programmation, Avec une régulation idéale et autonome pièce par pièce, les plafonds rayonnants chauffent constamment à la température nécessaire et peuvent être dotés d'un programmeur.[15]



Figure (2.16) :Film chauffant Dyna Flex-ACSO

2.3.2.3.3 Le plafond rayonnant « TRESCOTHERM » de TRESCO

Caractéristiques

Il est représenté sous la forme de film chauffant ou de modules. Ce système de chauffage est inobservable et ne fait pas de bruit, performant dans toute l'habitation, surtout appropriés aux pièces qui ont une hauteur importante. La mise en place est facile, Cependant il est important de respecter les normes en vigueur.[15]



Figure (2.17) : Plafond rayonnant modulaire Trescotherm-B-Tresco

2.3.2.3.4 Les avantages du plafond chauffant

- Avant tout ce matériel de chauffage garantit un confort idéal vu qu'il transmet une chaleur uniforme et agréable dans toutes les pièces.
- Il n'y a aucune difficulté avec ce système de chauffage à la distribution de la chaleur (meubles, tapis, ... etc.). Par conséquent elle est très réagissant : en 30 minutes, la chaleur se répartit et la pièce est chauffée à la température qu'il vous faut, donc on peut faire des économies sur la consommation d'énergie.
- Inversement au chauffage au sol qui contient des contre-indications en ce qui concerne le revêtement, ce type de chauffage donne la possibilité de choisir le revêtement de sol que vous voulez.[18]

2.3.2.3.5 Les inconvénients du chauffage par le plafond

- Le plafond chauffant exige une hauteur sous-plafond de 2.40 mètres au minimum afin d'empêcher les risques de sensations de surchauffe. Cette hauteur est aussi conseillée

pour maintenir une hauteur sous plafond convenable après la mise en place qui diminue la hauteur de 10 centimètres à peu près.

- L'inconvénient principal est l'installation coûteuse par rapport à celle du chauffage au sol.[18]

a) Poêles à combustible

C'est une méthode de chauffage classique, ils sont fréquemment fabriqués en fonte ou en fer et parfois en céramique, les combustibles peuvent être, liquides ou gazeux solides.[17]

Généralement l'hétérogénéité de la température résultante, est vu tel qu'un gène de ces systèmes. En réalité, cette caractéristique est causée par le mauvais état thermique des logements où sont installés ces générateurs. [17]

Le faible rendement est le principal défaut de ces appareils, cependant ils peuvent représenter une solution prometteuse dans le chauffage d'appoint et les processus de rénovation.[17]



Figure (2.18) : pôles à gaz source : www.condor.dz[17]

b) Convecteurs électriques

Le convecteur électrique est composé de trois constituants fondamentaux : un Carter, une résistance électrique et un boîtier de régulation, reliant des fois à une fonction de programmation.[15]

Pour les petits budgets les convecteurs électriques sont une solution parfaite. Ils sont munis de thermostats électroniques, d'une grille de sortie d'air sur l'avant de la façade et de résistances qui ne chauffent pas beaucoup l'air pour un confort optimal. Ils sont habituellement fabriqués pour des pièces hautes de 2.5 mètres, cependant ne peuvent pas placer dans un séjour avec mezzanine ou autres locaux de hauteur importante. L'air marchera bien dans les «bas de plafond».[15]



Figure (2.19) : convecteur électrique

c) Avantages des convecteurs électriques

- Augmentation rapide de la température
- Assure l'équilibre de l'humidité pour les pièces assez humides
- Sa mise en place est simple.

d) Inconvénients des convecteurs électriques

- L'air est asséché par le convecteur électrique
- Réduit la qualité de l'air
- Températures irrégulières.

2.4 Chauffage individuel

L'émetteur et le générateur constituent un seul élément dans lequel est reliée une régulation possible tel qu'illustré sur la figure 21. [19]



Figure (2. 20) : schéma de principe du chauffage individuel [19]

Parmi ce type de chauffage on trouve : Poêles à combustible, Inserts (cheminées), Chauffage électrique (convecteur électrique, plancher chauffant électrique), Poêles à accumulation.

2.5 Chauffage central

Un système de chauffage est dit central, lorsque la chaleur est produite à un endroit donné (une chaufferie, par exemple) avant d'être distribuée dans d'autres pièces.

La chaleur est produite par un générateur (chaudière, pompe à chaleur par exemple) qu'il faut alimenter en combustible et qui chauffe l'eau du circuit de chauffage. Celle-ci est ensuite dirigée vers les émetteurs de chaleur (radiateurs, plancher chauffant), via le réseau de distribution, et revient, plus ou moins refroidie, vers le générateur. Celui-ci transforme en chaleur, l'énergie qui lui est fournie. Les émetteurs transmettent à l'ambiance (par rayonnement et convection) la chaleur qu'ils reçoivent

Dans ce type de chauffage, on trouve une séparation entre l'émetteur et le générateur ce qui mène à l'emploi d'un réseau de distribution pour garantir transfert de la chaleur. [19]

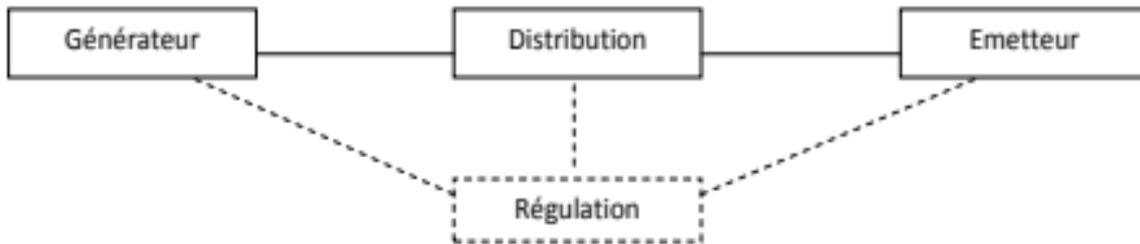
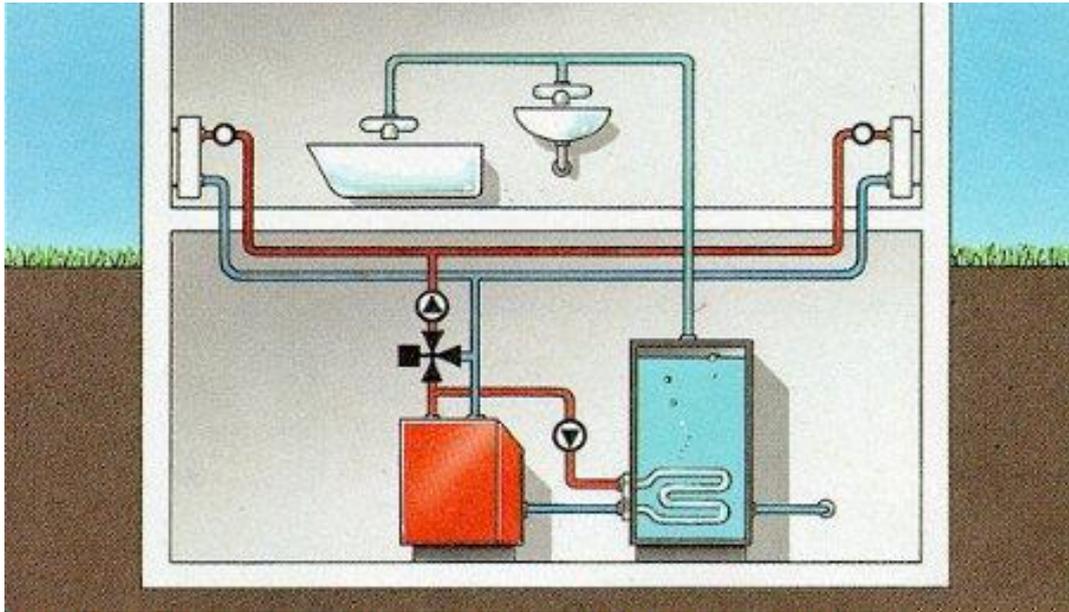


Figure (2.21) : schéma de principe du chauffage central [17]

Dans un chauffage central, Il n'y a qu'un seul foyer qui génère de la chaleur qui sera réparti vers divers logements par le médian d'un fluide caloporteur marchant dans un réseau de distribution. Il est possible que ce fluide soit de la vapeur, de l'air ou de l'eau.

Le foyer est d'habitude installé dans une chaufferie (immeuble avoisinant aux immeubles à chauffer). Cependant on peut également le trouver en sous-sol de villas ou dans les appartements (cuisine, dans le cas du chauffage central individuel en immeuble collectif, salle de bains). [19]

2.5.1 Avantages du chauffage central

- diminution du nombre de foyer et cheminées et de l'emprise au sol des éléments chauffants.
- la Pollution atmosphérique moins élevé.
- il n'y a pas de manipulation de cendres ou de combustible dans l'immeuble.

- une bonne rentabilité d'emploi du combustible et fonctionnement peu coûteux.
- la maintenance est réduite.[17]

2.5.2 Les inconvénients du chauffage central

- un investissement coûteux par rapport à celui d'un chauffage électrique intégré C.E.I.
- difficulté de distribution des frais de chauffage en collectif.[17].

2.6 Pompes à chaleur

La pompe à chaleur PAC est le seul appareil capable de restituer plus d'énergie qu'il en consomme. On parle de COP (coefficient de performance) pour mesurer la performance d'une pompe à chaleur. Il y a deux grandes familles de PAC (pompes à chaleur) :

-les pompes aérothermiques (de type : air/eau, air/air - où le premier membre constitue le "réservoir" gratuit de chaleur ; le deuxième est le vecteur de restitution)

- les pompes géothermiques (de type : eau/eau, sol/sol, sol/eau). Les premières puisent les calories (gratuites et renouvelables) dans l'air et les secondes dans l'eau ou le sol. Ces calories sont ensuite transférées, grâce à un circuit frigorifique constitué de deux échangeurs et d'un compresseur, à un circuit de chauffage. De plus, lorsqu'il est réversible, il fournit de la fraîcheur durant les périodes chaudes.

Sans entrer dans les détails, on peut dire que les pompes géothermiques sont plus performantes mais plus chères (à l'installation) que les pompes aérothermiques.

En Algérie le marché de la pompe à chaleur connaît un véritable regain depuis le début des années 2000. En outre, il existe, à l'heure actuelle, de fortes incitations financières pour ce type d'équipement.

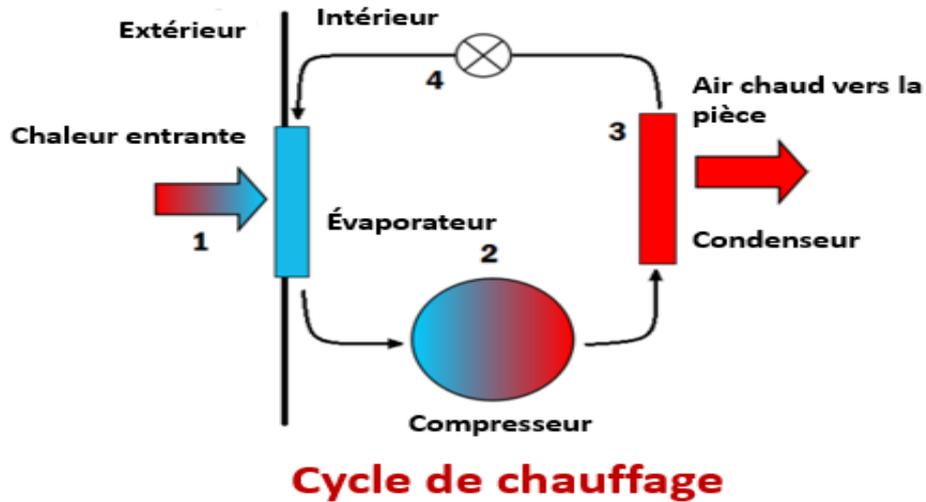


Figure (2.22) : Cycle de la pompe à chaleur

2.7 Chauffage solaire

"Sur la terre, le soleil est la source fondamentale d'énergie, car toutes les autres sources (charbon, gaz, pétrole, vent, etc.) en découlent. L'utilisation directe de l'énergie solaire semble donc être l'un des moyens de remédier à l'épuisement progressif des ressources actuelles en énergies et de répondre à l'augmentation des besoins énergétiques des sociétés industrielles et des pays en voie de développement.

Le solaire thermique transforme directement une partie du rayonnement solaire reçu en chaleur. Grâce à un ou plusieurs échangeurs ou panneaux solaires, cette chaleur est directement utilisable dans une installation de chauffage de bâtiment (système solaire combiné SSC) voire de piscine, ou de production d'eau chaude sanitaire (chauffe-eau solaire individuel CESI).



Figure (2.23) : Panneaux solaire Thermique

2.8 Conclusion

Les systèmes de chauffage ont connu une évolution plus ou moins forte dans des différents types de bâtiment. Ces différences de développement sont dues à plusieurs facteurs, parmi lesquels les plus importants sont la structure des ressources primaires d'énergie et les politiques énergétiques appliquées par les différents pays.

Dans ce chapitre on a présenté les différents systèmes de chauffage existant permettant d'assurer le confort thermique en hiver. Parmi lesquelles on a les planchers chauffants électriques, hydrauliques et le chauffage à air pulsé.

Le chapitre suivant va être consacré à la modélisation numérique du plancher chauffant hydraulique avec le logiciel *Fluent6.3.2*.



Chapitre 03.

Modélisation Numérique d'un plancher chauffant



Chapitre 03. Modélisation Numérique d'un plancher chauffant

3.1 Introduction

Pour aborder le calcul numérique des solutions d'un problème "réel" (à l'aide d'un outil informatique) on doit passer par la discrétisation des équations aux dérivées partielles afin de le convertir en un problème discret qui peut être résolu à l'aide de méthodes numériques telles que la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies et la méthode des volumes finis. Parmi celles-ci, la méthode des volumes finis est couramment utilisée dans les codes de simulation numérique de dynamique des fluides (*CFD - Computational Fluid Dynamics*). [20]

Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser le logiciel de calcul *FLUENT* version 6.2.16 comme solveur, ainsi que *GAMBIT* version 6.2.16 pour décrire la géométrie du domaine.[20]

La CFD, ou *Computational Fluid Dynamics*, est une abréviation qui correspond à la Mécanique des Fluides Numérique (MFN) en français. La *CFD* consiste à étudier les mouvements des fluides et leurs effets en résolvant numériquement les équations qui les régissent. Selon les approximations choisies, qui sont souvent basées sur un compromis entre les besoins de représentation physique et les ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier- Stokes, et autres.[20]

Elle est devenue un outil essentiel dans presque tous les domaines de la dynamique des fluides, allant de la propulsion aérospatiale aux prévisions météorologiques, en passant par la conception de coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est fortement soutenue, car elle permet d'accéder à des informations instantanées complètes (vitesse, pression, concentration) pour chaque point de la zone étudiée, à un coût global généralement abordable par rapport aux expériences physiques équivalentes, en utilisant Le logiciel Gambit pour générer la géométrie étudiée et *ANSYS FLUENT* pour simuler les cas étudiés.

3.2 Formulation du problème

3.2.1 Géométrie étudiée

La géométrie du modèle est un élément du plancher chauffant hydraulique constitué d'une couche de béton, où sont disposés les tubes (de type multicouche) réticulés en serpentins de 20 mm de diamètre (voir la figure 3.1). L'eau circule donc à l'intérieure de ces tubes, à une température maximale de 50°C et une vitesse 0.7 m/s.

Les tubes sont entièrement disposés au milieu du béton pour permettre une conduction de la chaleur sur la totalité de la surface extérieure ainsi la puissance transmise sera donc plus forte.

Vu que l'épaisseur du tube est très petit (1.5 à 2mm) on a négligé son interaction avec l'eau et le béton .

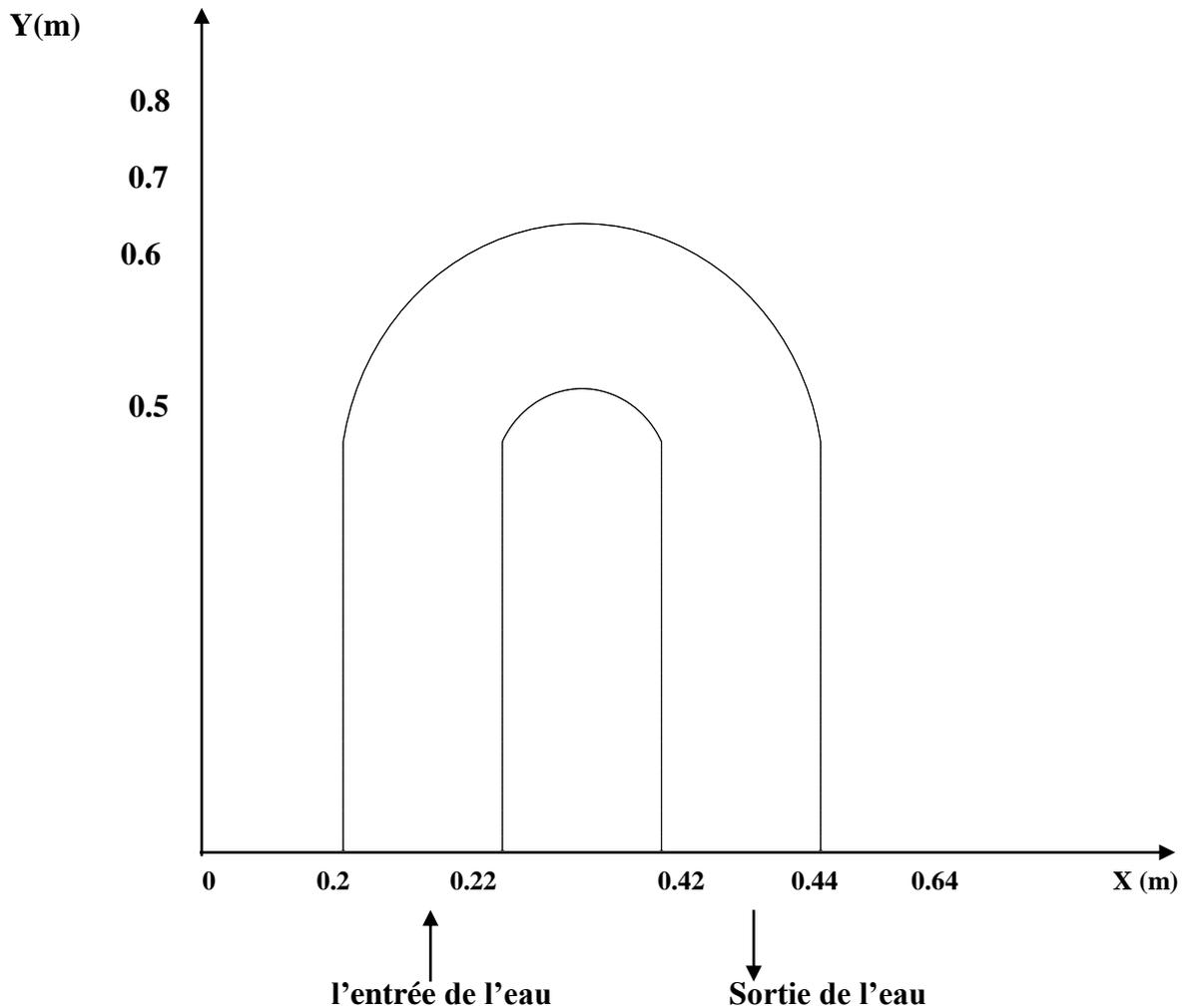


Figure (3.1) : Modèle physique étudié

Chapitre 03. Modélisation Numérique d'un plancher chauffant

Les propriétés thermo-physiques sont données dans les tableaux suivant (3.1) et (3.2), respectivement

Tableau 3.1 : Propriétés de l'eau

Propriétés	Valeurs
Masse volumique ρ [kg/m ³]	998.2
Chaleur spécifique C_p [J/Kg k]	4185
Conductivité thermique λ [W/mK]	0.6
Viscosité dynamique μ [Kg/ms]	0.001003
Température de référence T_{fr} [K]	298

Tableau 3.2 : Propriétés thermique de béton

Propriétés	Valeurs
Masse volumique ρ [kg/m ³]	2400
Chaleur spécifique C_p [J/Kg k]	1000
Conductivité thermique [W/mK]	1,75

3. 3 Formulation mathématique du problème 2D

3.3.1 Hypothèses simplificatrices

Nous considérerons que l'écoulement dans la phase liquide est laminaire, incompressible, instationnaire et newtonien et nous négligerons la dissipation visqueuse. Les propriétés physiques du matériau seront considérées constantes et identiques dans la phase solide.

Les équations qui gouvernant l'écoulement d'un fluide bidimensionnel, newtonien, incompressible en écoulement laminaire sont :

3. 3 .2 Equation de conservation de masse

Equations de conservation

En prenant en compte les hypothèses posées précédemment, nous pouvons écrire le système d'équation suivant :

a) Conservation de masse

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

b) Equation de conservation de la quantité de mouvement suivant x

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3.2)$$

c) Equation de conservation de la quantité de mouvement suivant y

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho g \beta (T - T_0) \quad (3.3)$$

d) Equation de conservation de l'énergie

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.4)$$

Domaine solide on a :

$$(\rho \rho_p)_i \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_i \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.5)$$

Domaine liquide on a :

Le comportement du matériau liquide eau est basé sur la méthode de la capacité apparente :

$$\rho C_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.6)$$

Où :

x : coordonnée horizontale [m].

y : coordonnée verticale [m].

u : est la composante de la vitesse suivant la direction x [m/s].

v : est la composante de la vitesse suivant la direction y [m/s].

ρ : La masse volumique [Kg/m³].

P : pression [pa] .

t : temps [s].

μ : viscosité dynamique [Kg/ m .s].

T_0 : Température d'entrée d'eau [K].

g : La Constante de la Gravité [m/s²].

β : Coefficient de la dilatation.

C_p : Chaleur Spécifique [J/Kg.K].

V : vitesse d'entrée d'eau [m/s].

T : Température[K].

λ : conductivité thermique[W/m.°C].

3.3.3 Conditions aux limites

Après plusieurs essais de changer les débits dans le calcul numérique on a choisi ce débit :

$$q_m = 0.01 \text{ kg/s}$$

On a fixé la température moyenne de l'eau $T_e = 323 \text{ K}$.

A la paroi :

$$u=v=0$$

$$\frac{dT}{dx} = 0 \text{ Sur les parois verticales.}$$

$$\frac{dT}{dy} = 0 \text{ Sur les parois horizontales.}$$

La température ambiante est prise égale 298 K.

La Vitesse d'entrée d'eau on va prendre 0.7 m/s.

P =pression atmosphérique

Nous avons décrit le modèle mathématique complet, nous allons passer à la présentation du modèle numérique complet (*CFD*) utilisé lors de la résolution des différents problèmes étudiés.

3.4 Simulation numérique

Nous allons utiliser le logiciel commercial *FLUENT*, ce code se base sur la méthode des volumes finis. Celle-ci consiste à discrétiser le domaine de l'écoulement en une multitude de volumes de contrôle, puis à effectuer sur chacun d'entre eux les bilans de masse, de quantité de mouvement et d'énergie. Le résultat est un ensemble d'équations algébriques (matrices) que l'on résout de manière itérative

3.4.1 Description du maillage et des paramètres de calcul

GAMBIT est un logiciel de maillage permettant de réaliser la géométrie, le maillage du problème et de définir les conditions aux limites

Le **GAMBIT** est un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de génération de maillage .il permet de réaliser des géométries en 2D ou 3D et de construire le maillage.

3.4.1.1 Lancement de Gambit

La génération du maillage dans GAMBIT passe par les étapes suivantes :

Étape 1 : Choix du solveur

Le calcul numérique va être effectué à l'aide du Fluent 6.3.26. Pour cela, il faut définir le type de solveur dans GAMBIT.

Solver FLUENT 5/6

Étape 2 : Création de la géométrie la surface Pour créer la géométrie du système, il existe plusieurs méthodes :

- Utiliser la base des géométries prédéfinies.
- Où créer la surface à partir des points et des lignes.

Chapitre 03. Modélisation Numérique d'un plancher chauffant

Pour mieux contrôler notre maillage, il est préférable d'utiliser la deuxième méthode : On commence alors par créer les points, les lignes et définir ensuite.

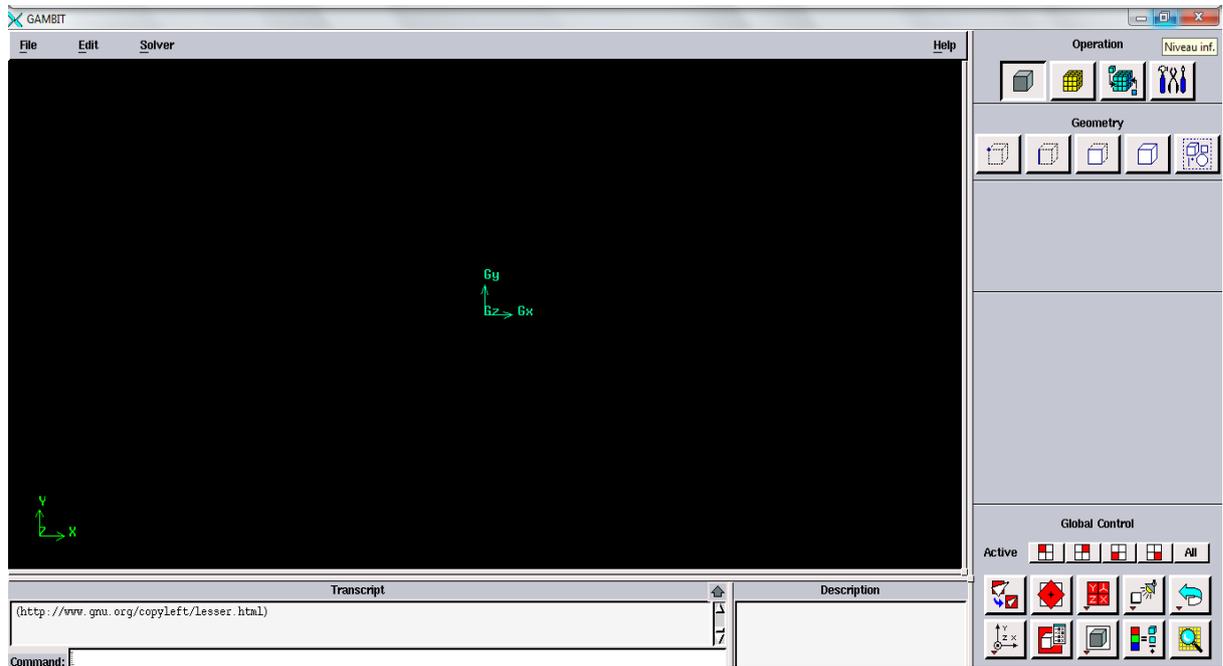


Figure (3.2) : Lancement de Gambit.

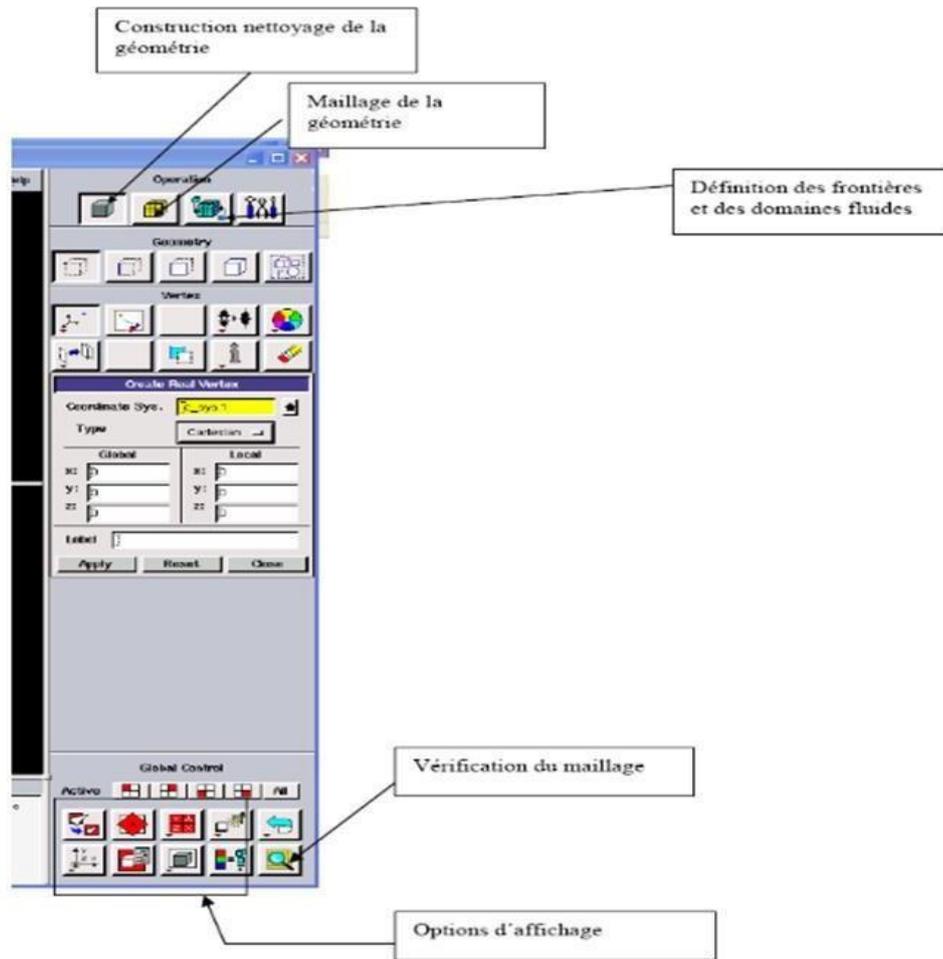


Figure (3.3) : Outils de Gambit

3.4.1.2 Création de la géométrie

La géométrie est un élément du plancher chauffant hydraulique à l'intérieure est disposé, un tube de 20 mm de diamètre. La température du fluide d'entrée est 50 °C, la température du solide (la chape) est fixée sur 25°C, la vitesse est prise égale à $V=0.7$ m/s voir la figure 3.5

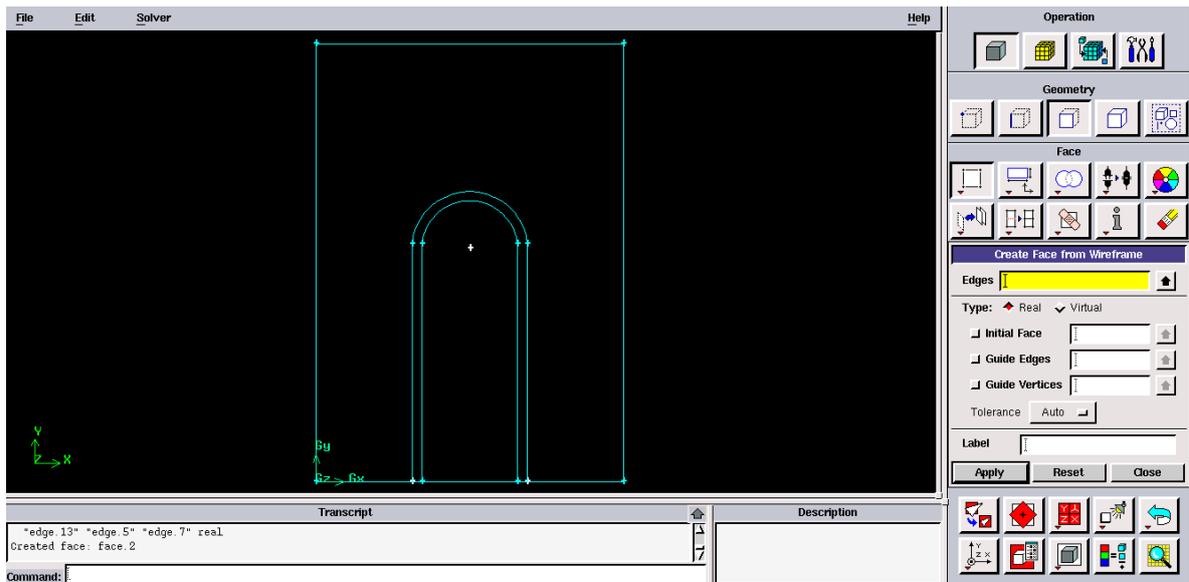


Figure (3.4): Création de la géométrie

3.4.1.3 Maillage et les conditions aux limites

- **Maillage**

La génération du maillage $2D$ est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence des paramètres sur la solution calculée. Ce menu permet de mailler en particulier une ligne de la géométrie, à savoir disposer les nœuds avec des conditions particulières (utilisation d'un ratio pour modifier la pondération du maillage, application de formes différentes de maillage).[1]

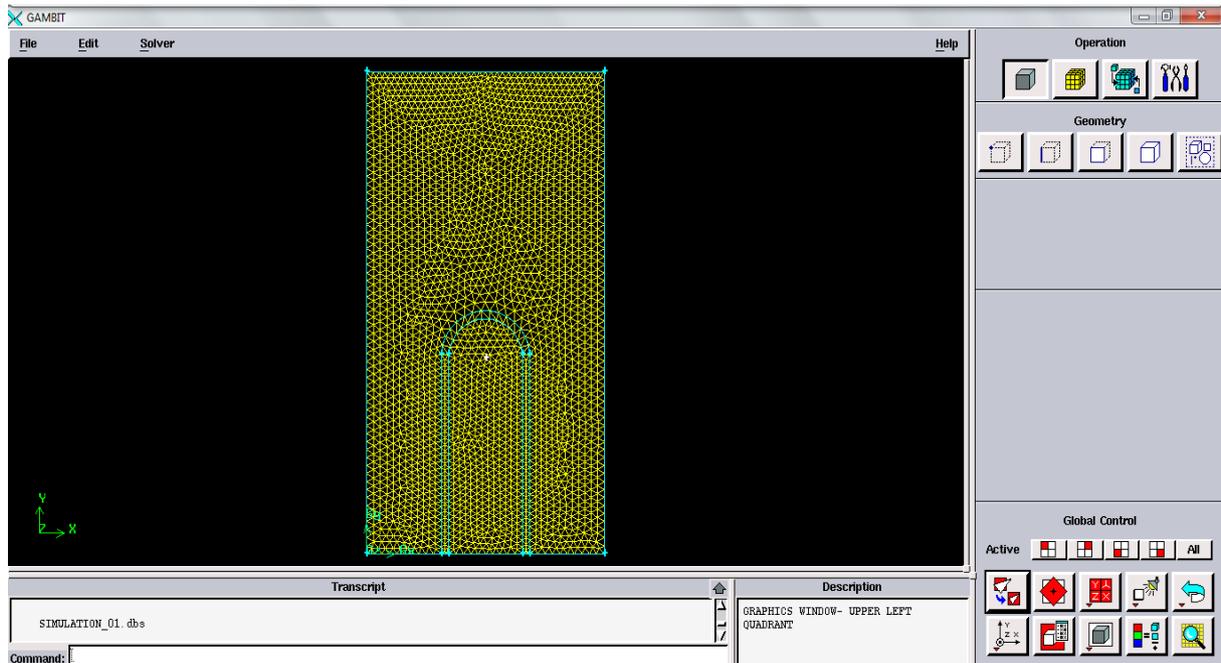


Figure (3.5) : Choix de maillage final.

- **Condition aux limites**

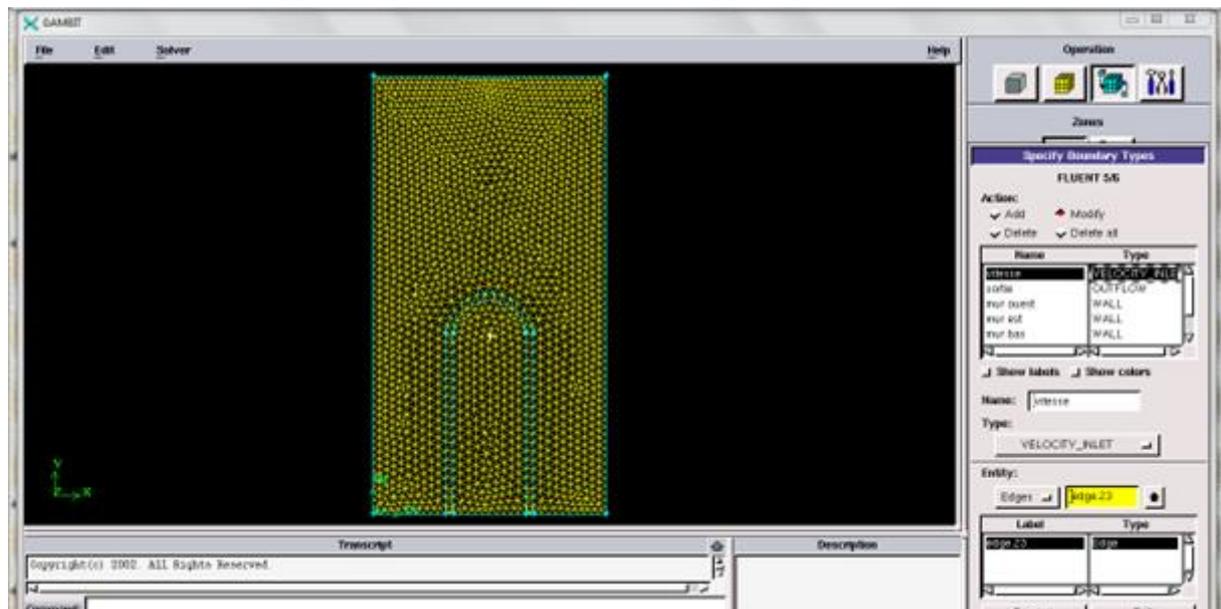


Figure (3.6) : choix des conditions aux limites.

Remarque

Vitesse dans la figure 3.6 concerne la vitesse d'entrée de l'eau et **sortie** c'est la vitesse de sortie de l'eau .

- **Exportation du maillage de Gambit**

Après la création de la géométrie et les conditions aux limites, on exporte le maillage au

Solveur Fluent suivant l'étape : File -export- mesh

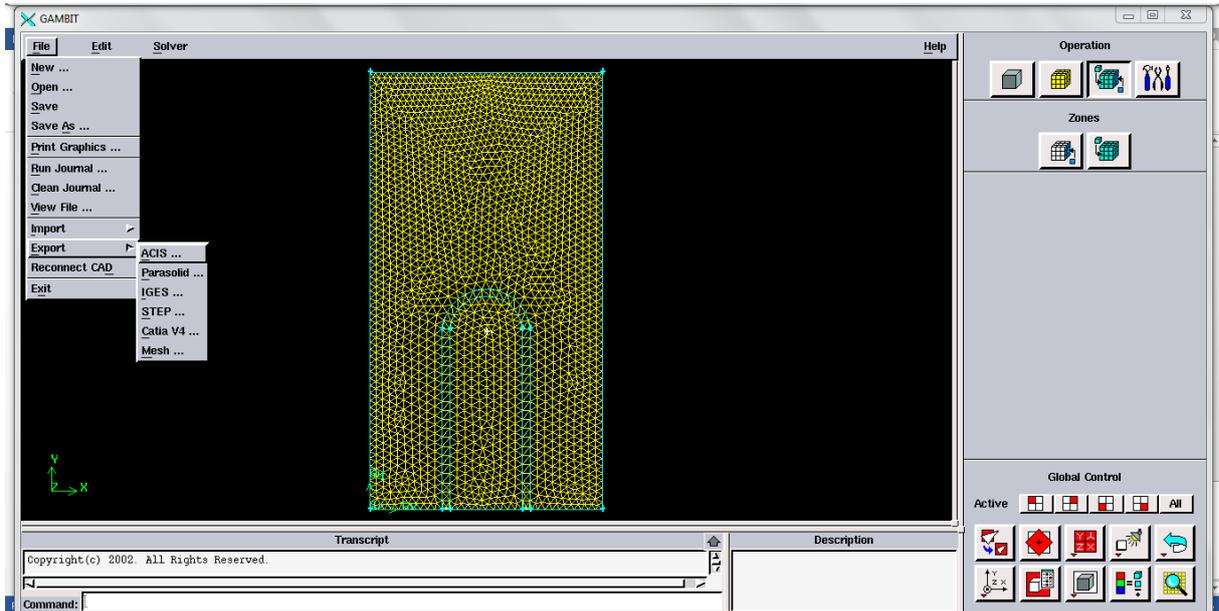


Figure (3.7): Exportation du maillage.

Il nécessite d'exporter le maillage, en format « Mesh » pour que le Fluent soit compétent de le lire et de l'utiliser après enregistrement, comme suit :

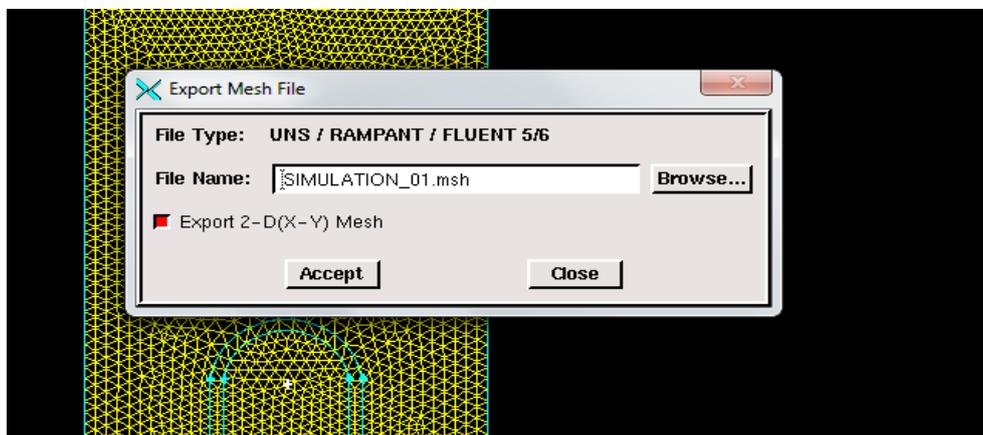


Figure (3.8): Enregistrement du fichier.

3.4.2 Lancement du fluent

Puisque notre géométrie est en 2D, pour le domaine de calcul le choix du 2D double précision le plus semblable notre étude, il est donc distingué comme suit :



Figure (3.9): lancement Fluent.

3.4.2.1 Importation de la géométrie

Pour commencer l'étude il faut importer le fichier (*. Mesh) généré sous Gambit par l'étape suivante : File – Read – Case

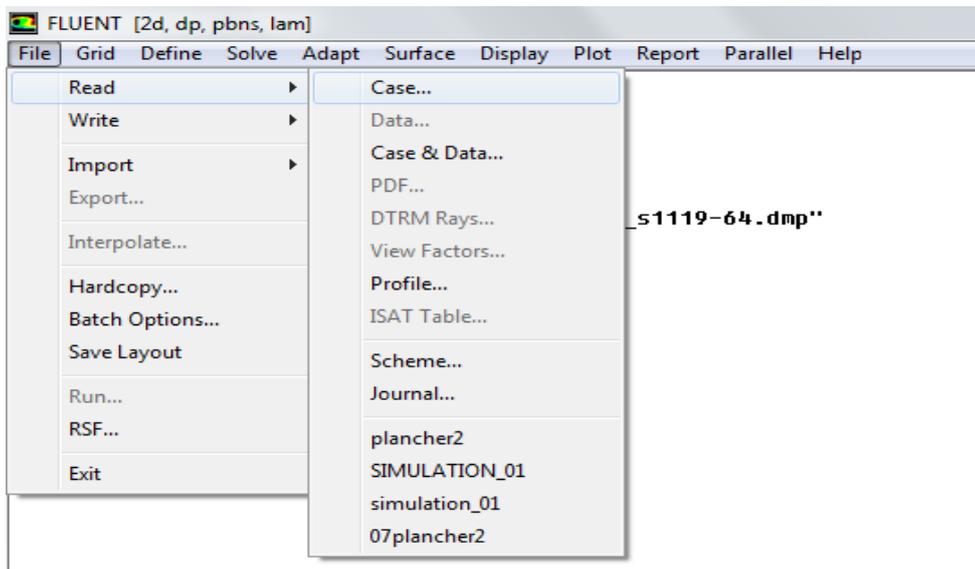


Figure (3.10): Importation de la géométrie.

Activer la fonctionnalité de l'équation de l'énergie :

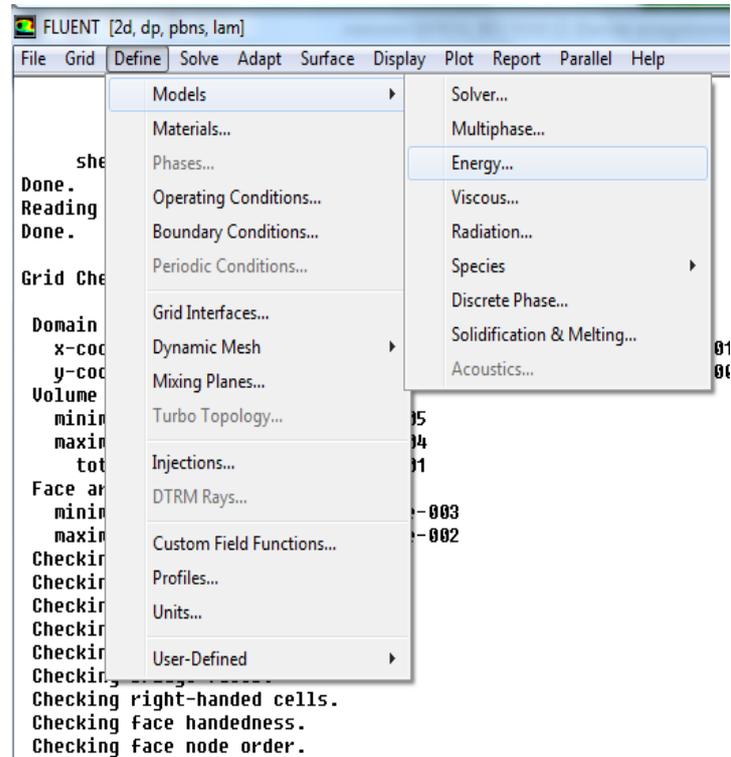


Figure (3.11) : Activation de l'équation de l'énergie.

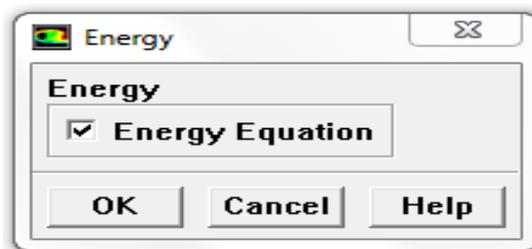


Figure (3.12) : Activation de l'équation de l'énergie.

3.4.2.2 Les conditions aux limites

Il est nécessaire de fixer les valeurs des conditions aux limites du problème à traiter :

- Définir –modèles –viscose (Define-Models–Viscous)

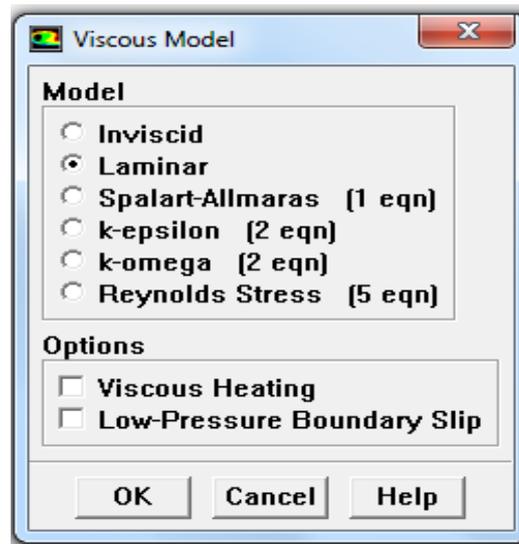


Figure (3.13) : Activation de régime laminaire

- Définir-matériaux (Define-Materials)

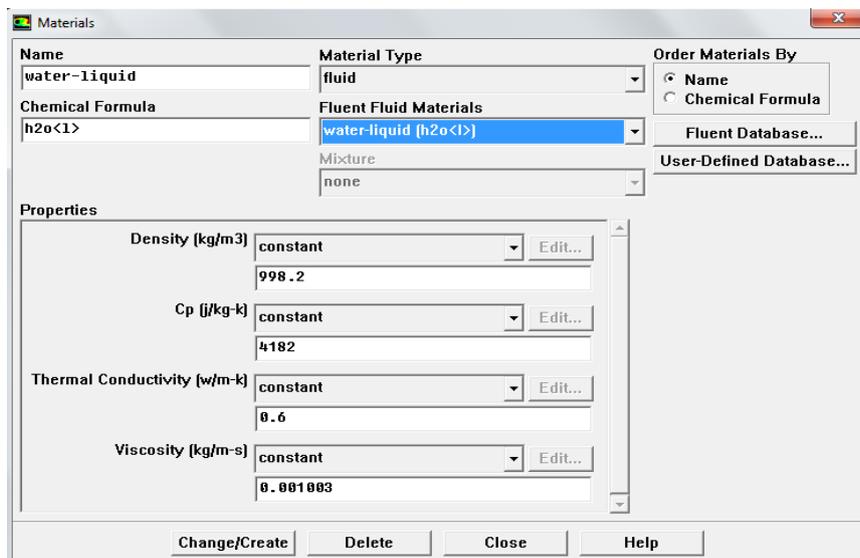
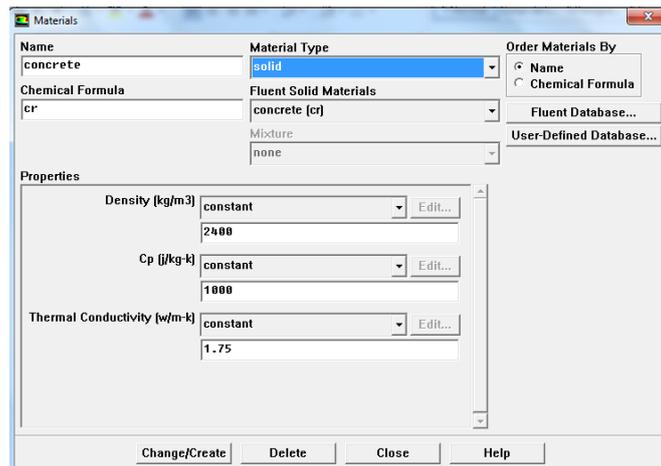


Figure (3.14) : Définition du matériau liquide.



Figure(3.15) : Définition du matériau solide .

- Définir -les conditions aux limites (Define-Boundary conditions)

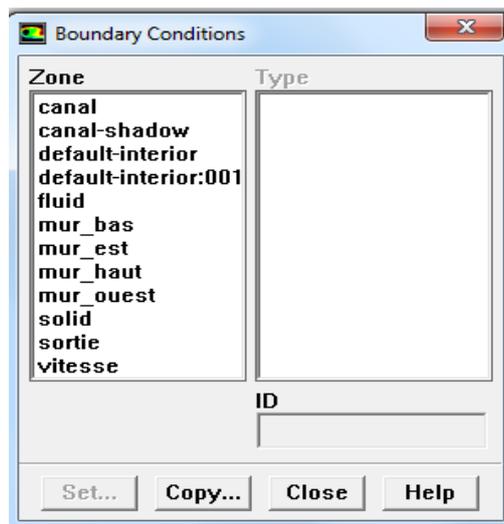


Figure (3.16): Conditions aux limites

La température de solide égale 298 K.

Le solide (béton) est présenté dans le logiciel sous forme les 4 murs ; mur haut, murbas, mur est, mur ouest.

Vitesse d'entrée de l'eau

On fixe la vitesse d'entrée de jet d'eau sur une valeur de 0.7 m/s.

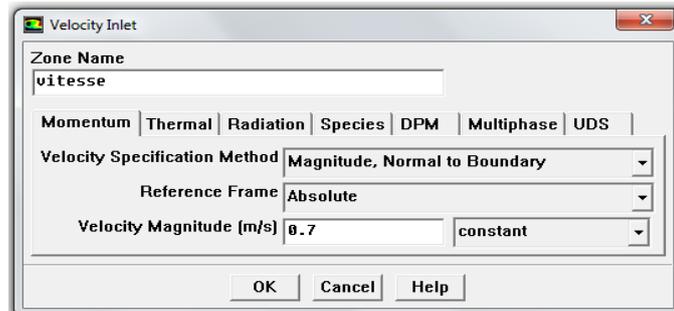


Figure (3.17) : vitesse d'entrée 0.7m/s.

La Température d'entrée de l'eau (323K)

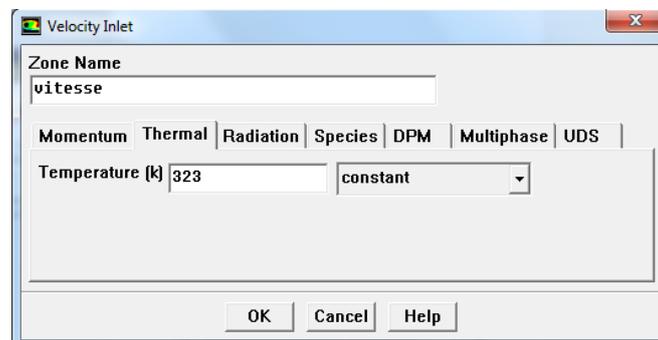


Figure (3.18) : température d'entrée.

3.4.2.3 Contrôle solution

Cette étape nous a permis d'estimer les schémas de discrétisations, ainsi que le choix d'ordre des équations et l'algorithme (ou choix de solution). Solve – Methods.

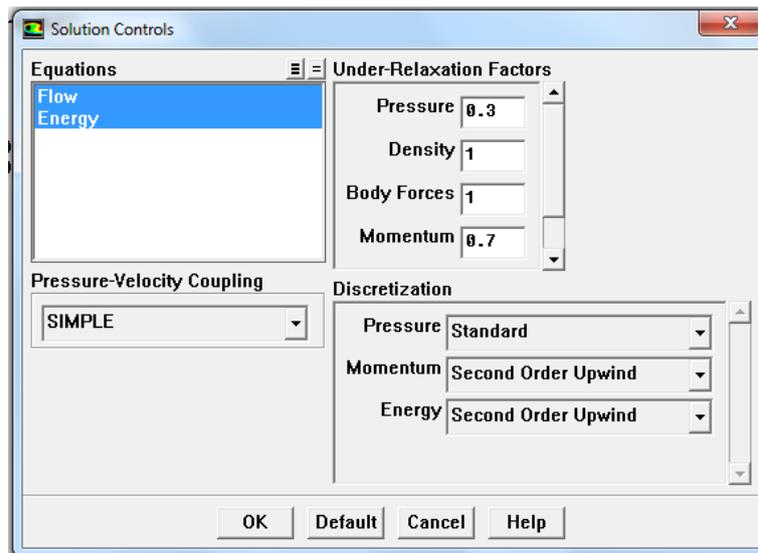


Figure (3.19) : Choix d'ordre d'équation.

3.4.2.4 Initialisation de la solution

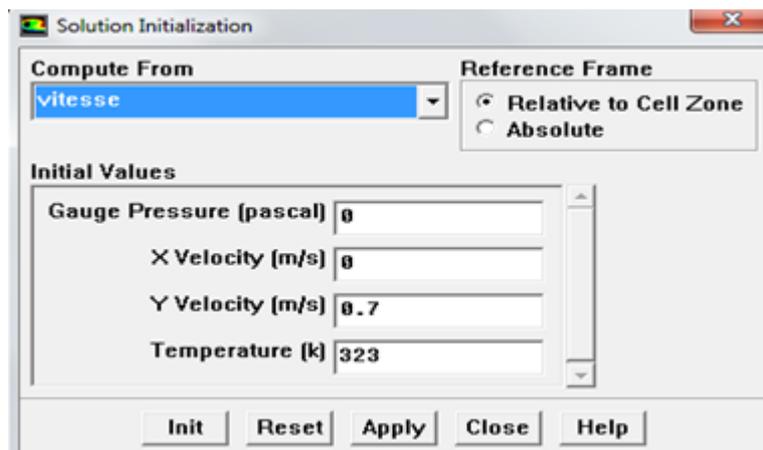


Figure (3.20): Initialisation de la solution.

3.4.2.5 Evolution des résidus de calcul

Les calculs sont lancés après le choix du nombre itérations et le pas du temps :

solve → iterate.

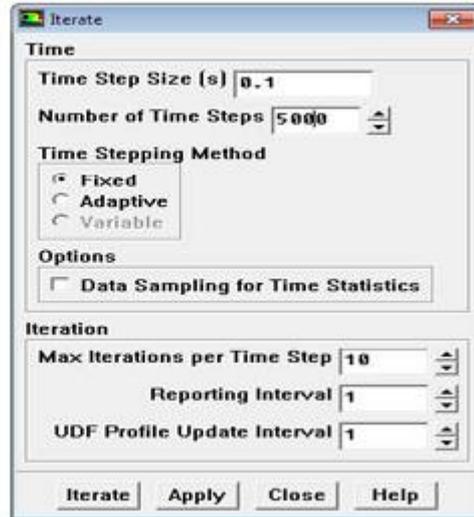


Figure (3.21): Choix du pas du temps et le nombre d'itération

- Résiduel :

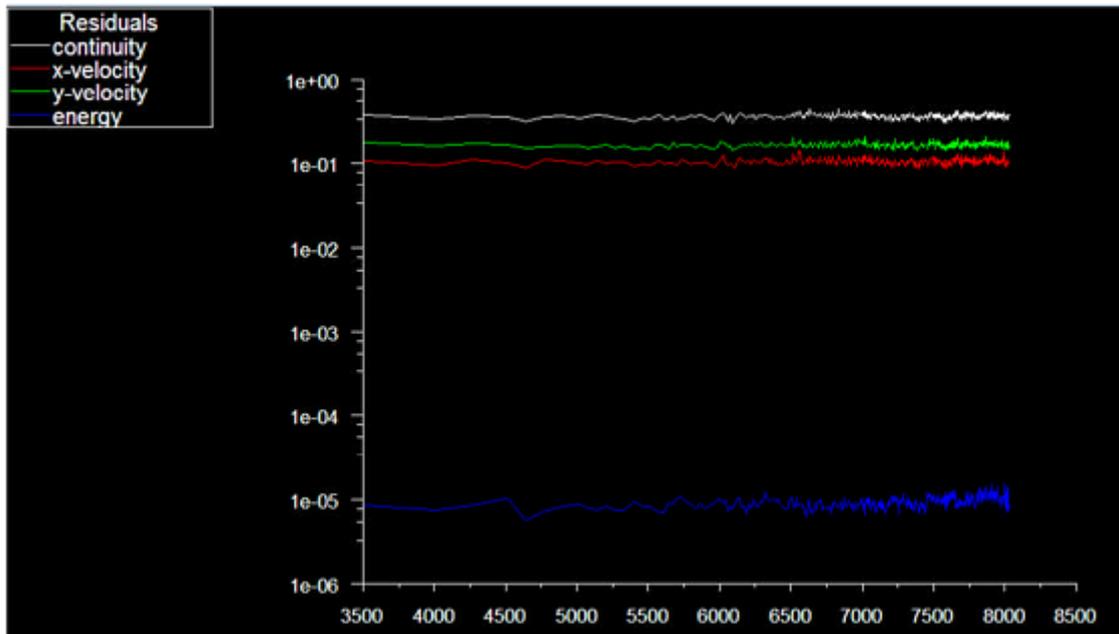


Figure (3.22): Nombre d'itération.

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu la formulation mathématique du modèle physique et les étapes clés pour mener à bien la simulation avec le logiciel ANSYS FLUENT 6.3, dans le dernier chapitre on va voir les résultats et les interprétés.



Chapitre 04.

Résultats et Interprétations



Chapitre 04. Résultats et Interprétations

4.1 Introduction

La géométrie considérée et les conditions aux limites ont été présentées dans le chapitre 3, ainsi que la discrétisation du modèle numérique. La simulation numérique a été faite avec le code de calcul Fluent.

Il nous reste maintenant à faire une analyse détaillée des résultats obtenus par la simulation numérique.

4.2 Maillage

La figure 4.1 présente le maillage utilisé dans notre simulation qui est régulier avec des éléments de type triangulaire (4116 éléments) sachant que la précision des résultats dépend dans une large mesure de la qualité du maillage. Plusieurs maillages ont été opérés.

Nous avons retenu une grille avec un maillage à 2292 nœuds qui donne des résultats très satisfaisants.

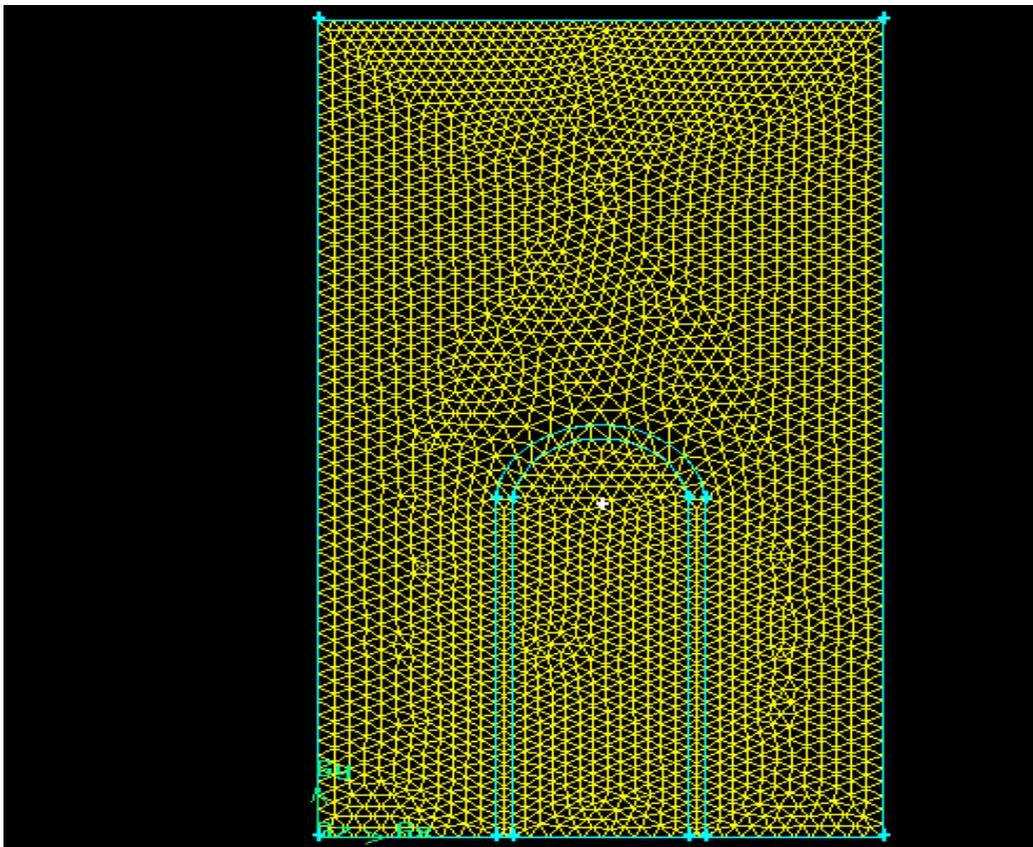


Figure (4.1) : Maillage de la géométrie étudiée.

4.3 Résultats et discussions

4.3.1 Evolution des champs de température dans le tube

La figure 4.2 montre l'évolution des champs de température du tube incorporé dans le planché aux instants 0s, 6s, 10s et 120s. La température d'entrée d'eau imposée de façon constante à 50°C.

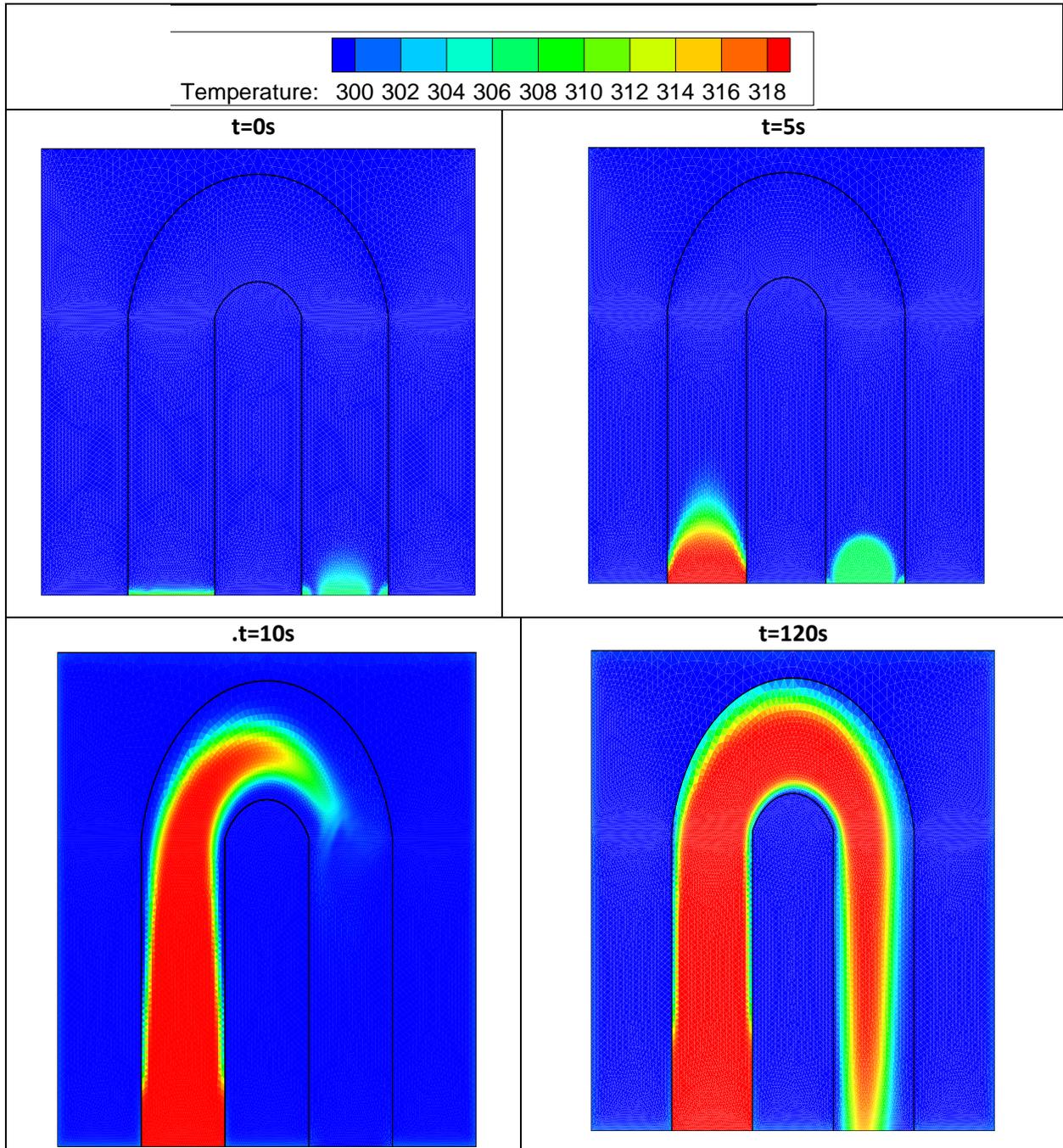
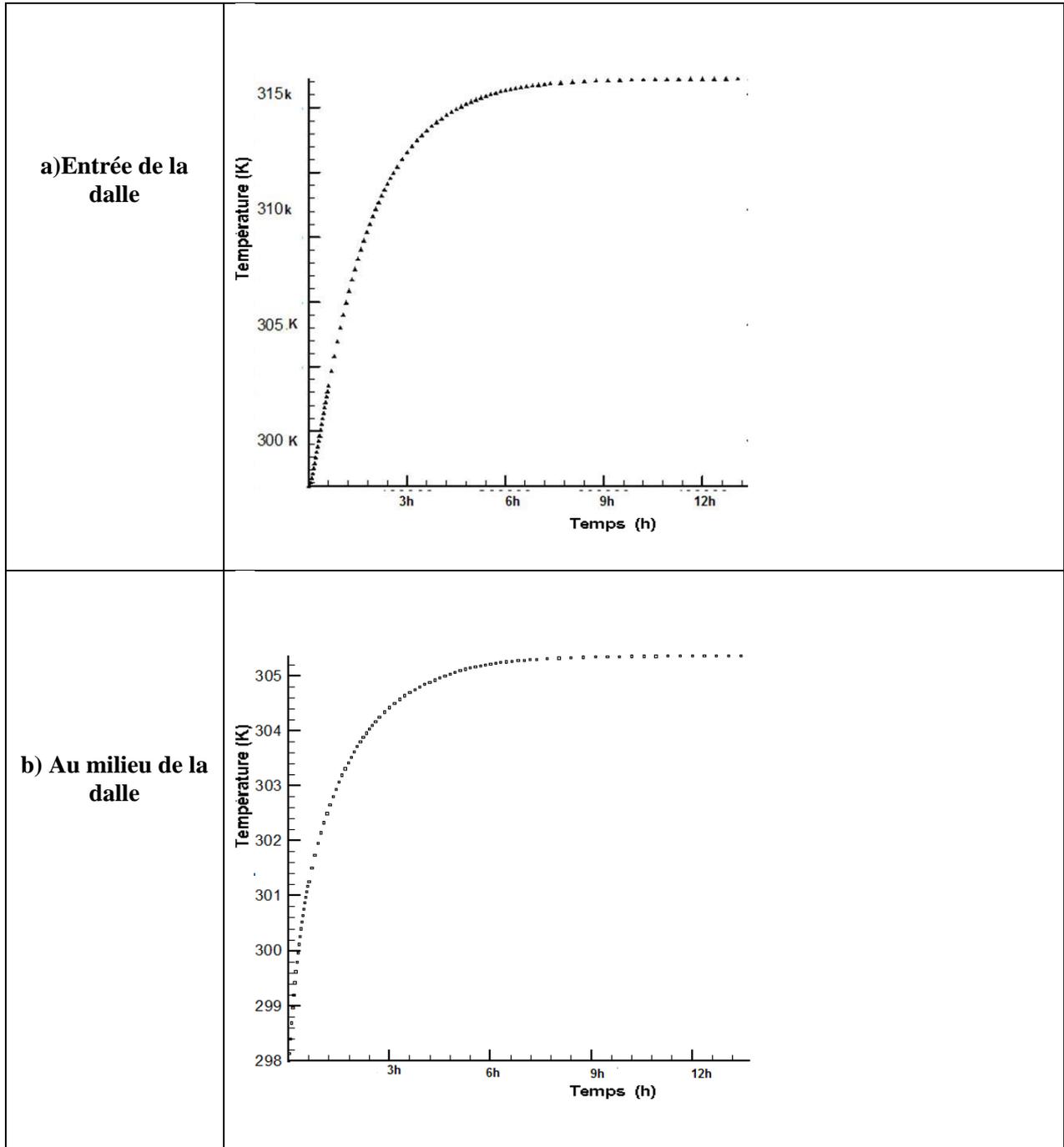


Figure (4.2) : Evolution du champ de température dans le tube en fonction du temps

Nous remarquons que le pic de température dans le tube de planché varie en fonction de l'évolution du temps. Il y a un réchauffement du tube et plus intense dans l'entrée du conduit d'eau à cause de la convection.



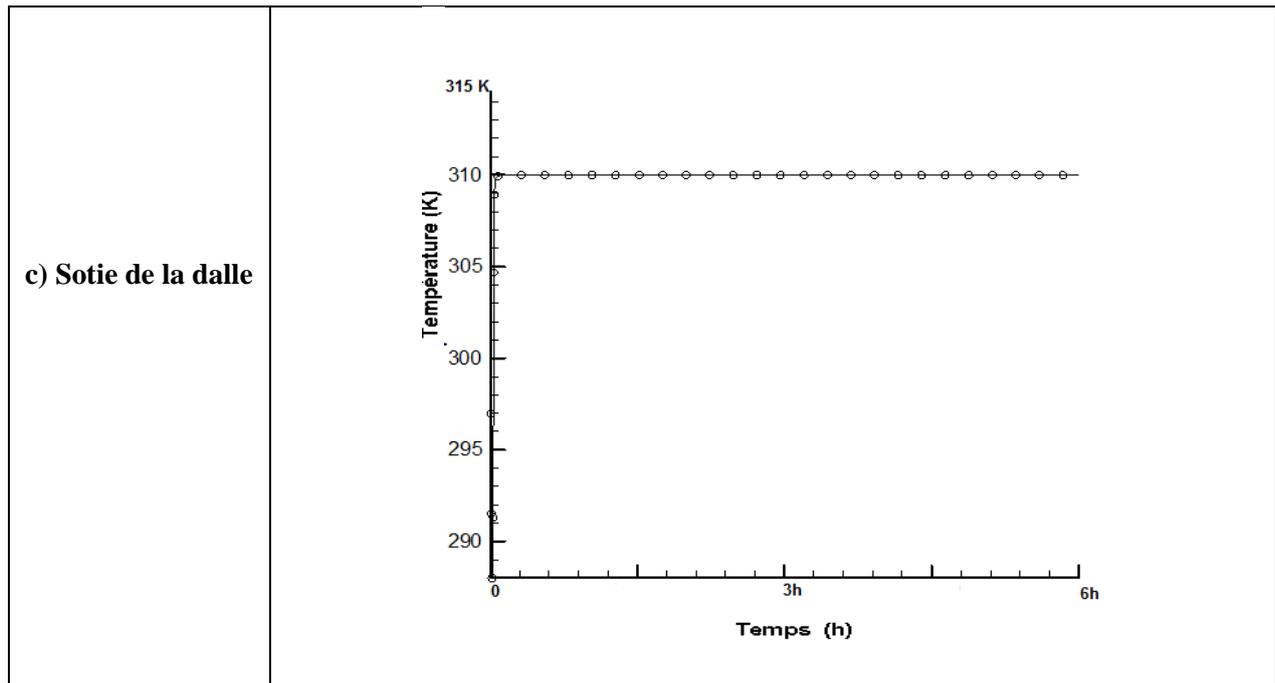


Figure (4.3) : Evolution des températures entrée - milieu et sortie dela dalle

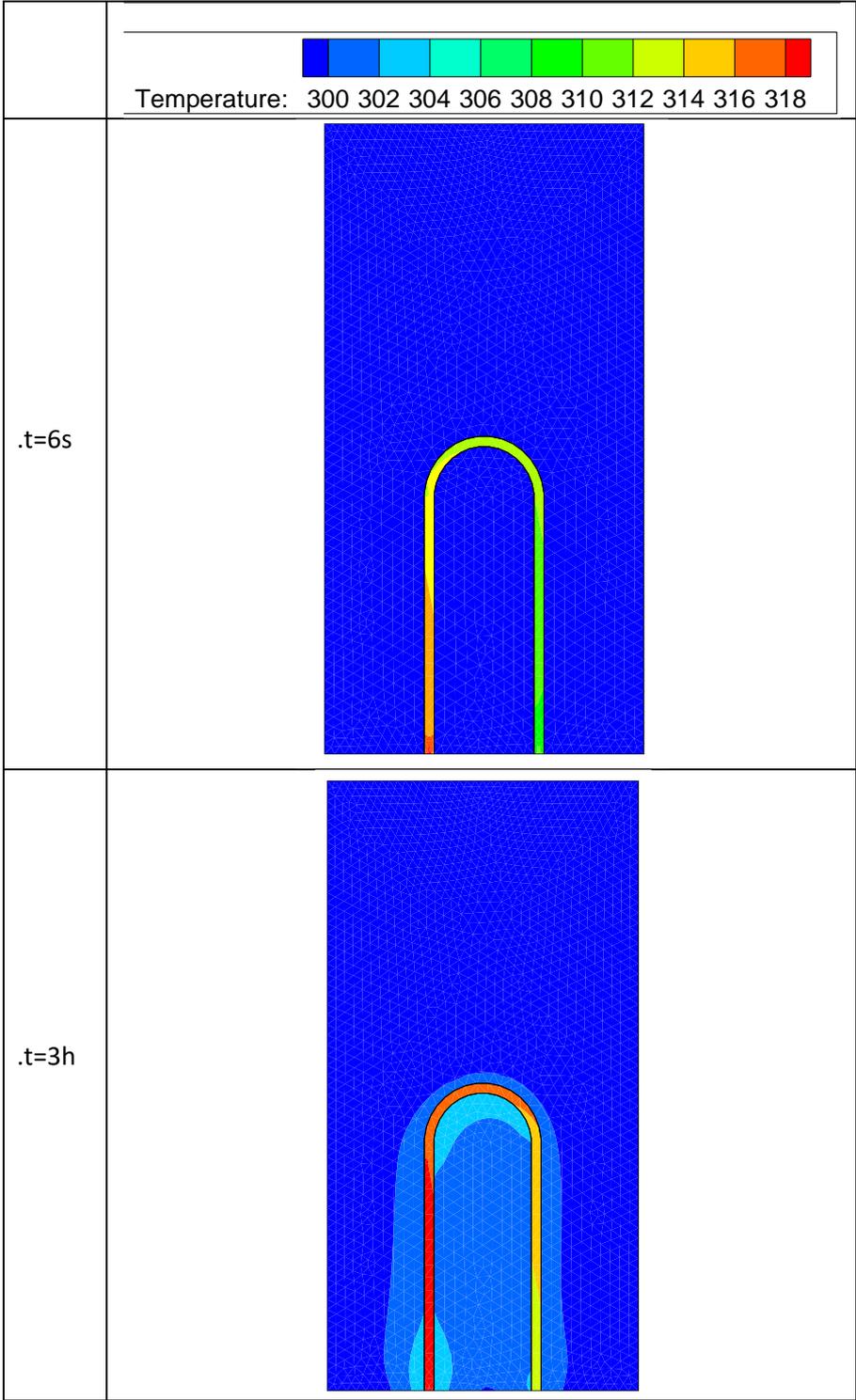
La figure 4.3 présente l'évolution de la température dans différents points de la dalle (à l'entrée au milieu et à la sortie). Nous constatons qu'elles ont la même allure. Les températures dans différents points de la dalle tendent à s'uniformiser au bout de quelque heure.

La température au centre de la dalle est de l'ordre de 25 - 27 °C donc on peut dire qu'on atteint un certain confort thermique en négligeant les pertes thermiques dans le planché.

4.3.2 Evolution des champs de température dans le planché

La figure 4.4 représente l'évolution temporelle de la température dans la dalle du planché. L'évolution de la température à l'intérieur de la dalle montre une bonne absorption la chaleur. La convection entre le fluide l'eau et la dalle est importante. Ceci est dû à la conductivité du béton qui est de l'ordre de ($\lambda = 1.75 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$), la résistance thermique ($R = e/\lambda$) est très faible ($= 0,030357 \text{ K/W}$), la chaleur se transmet aussi bien par conduction.

Le planché en béton joue un rôle de régulateur de température autant la dalle peut émettre de la chaleur, autant elle peut absorber, ce qui est intéressant pour le rafraîchissement des locaux.



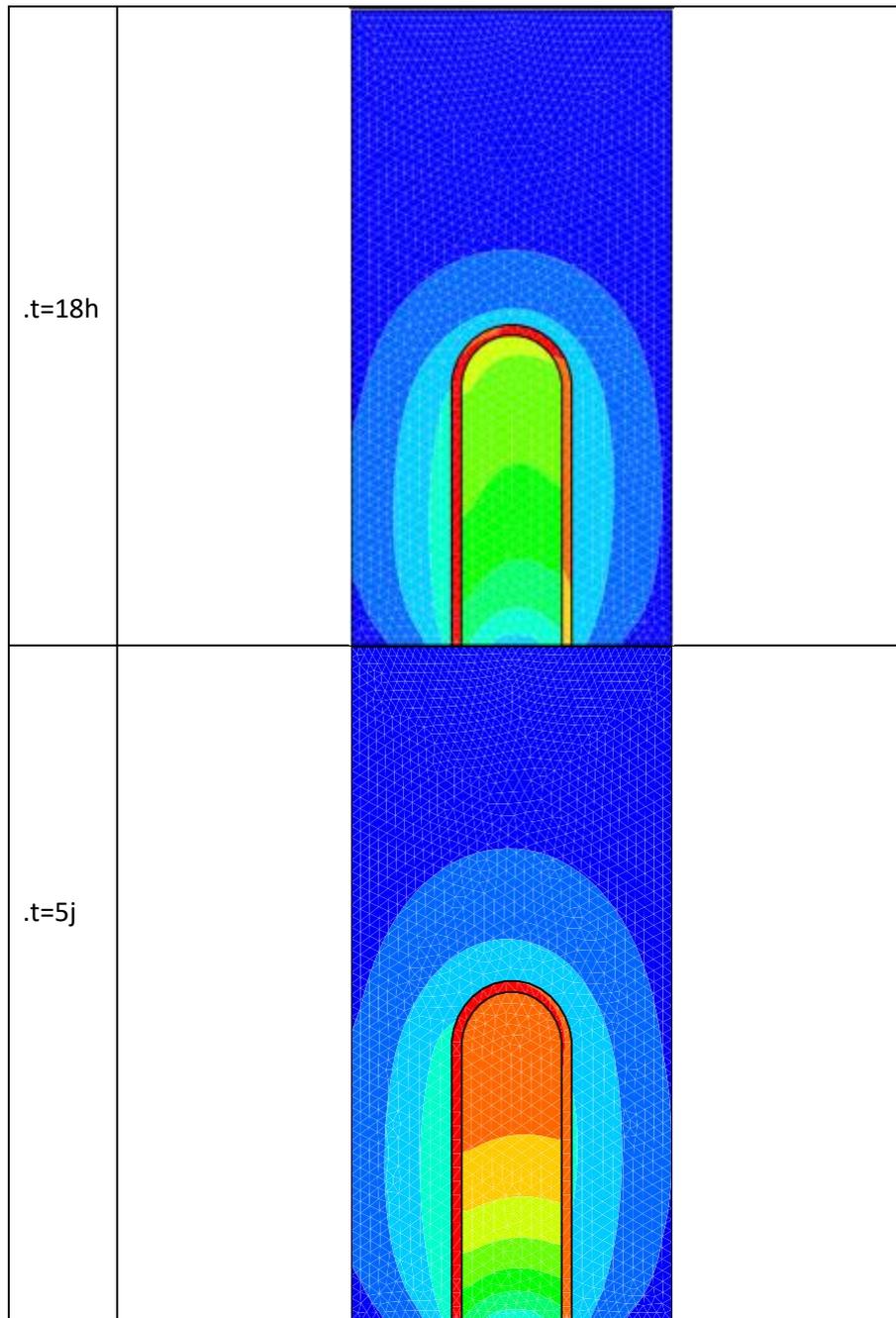


Figure (4.4) : Evolution des champs de température dans le planché

4.3.3 Lignes de courants

La figure suivante figure (4.5) illustre la distribution des lignes de courant pour la vitesse d'entrée d'eau $v=0.7\text{m/s}$ dans le conduit de notre plancher chauffant. La valeur de la ligne de courant est maximum à la limite supérieure et minimum à la limite inférieure.

Les figures ci-dessous dessine par des séries de points les lignes de courant autour du profil de L'écoulement instationnaire, c.-à-d. que les lignes de courant varient dans le temps. Comme on peut en juger, cependant, la vitesse d'une particule est fondamentalement variable sur sa ligne de courant : À l'extrados (au-dessus du tube), les particules sont globalement accélérées

(cela commence même en avant du profil) ; à l'intrados (en dessous du profil), les particules sont globalement ralenties. il se développe donc une dépression à l'extrados et une surpression à l'intrados.

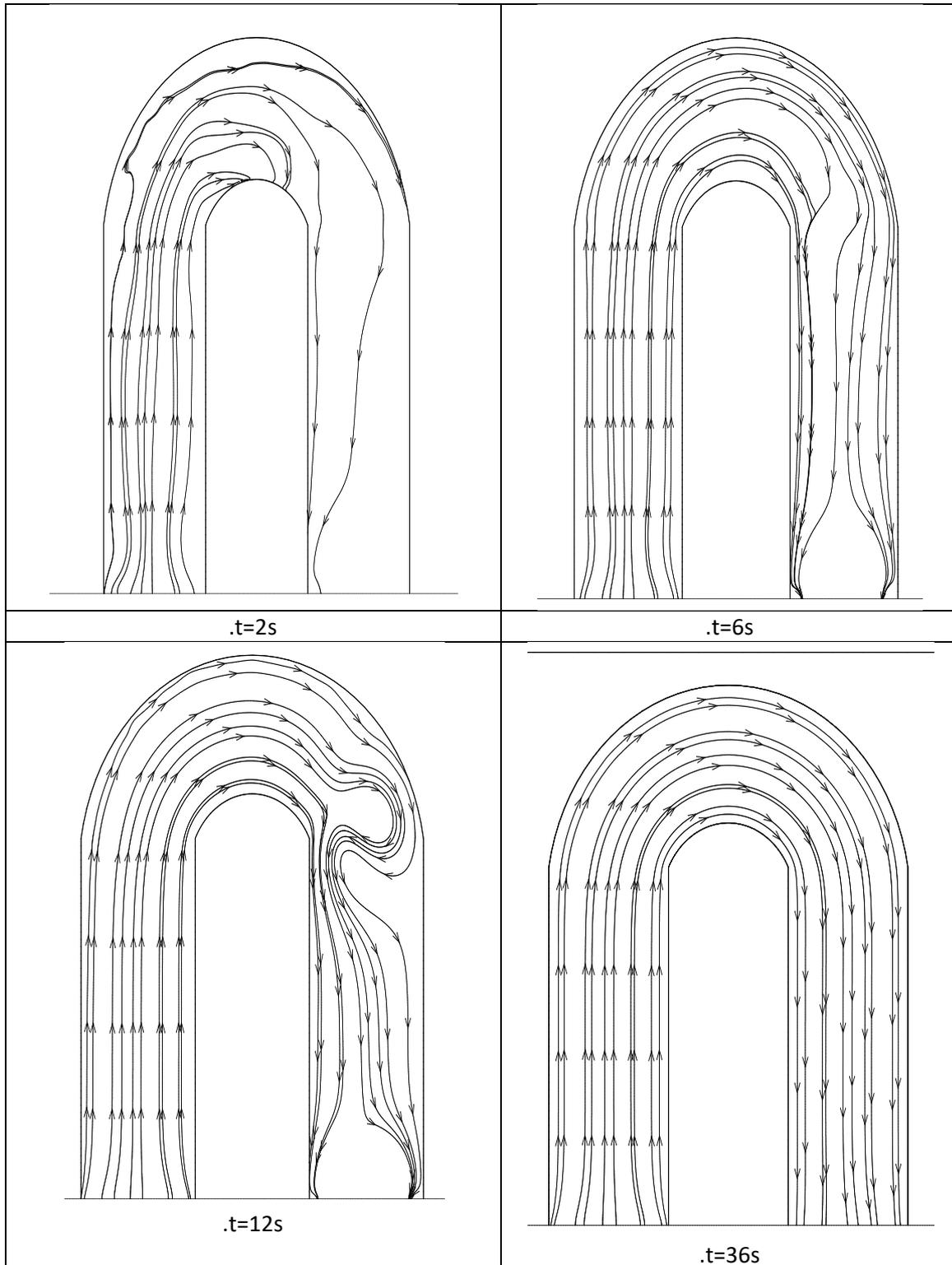


Figure (4.5) : Contour des lignes de courant pour la configuration de vitesse $v= 0.7\text{m/s}$

4.4 Distribution de la température en fonction des vitesses

Les profils des courbes suivantes (figure 4.6);(figure 4.7);(figure 4.8), illustrent l'évolution de la température à différentes sections pour différentes positions (voir figure) pour différentes vitesses :

- ▶ section $x=0_0.2\text{m}$ pour $y=0.5\text{m}$.
- ▶ section $x=0.22_0.42\text{m}$ pour $y=0.5\text{m}$.
- ▶ section $x=0.44_0.64\text{m}$ pour $y=0.5\text{m}$.
- ▶ section $x=0_0.6\text{m}$ pour $y=0.7\text{m}$.

On remarque que plus la vitesse est importante plus la distribution de la température est importante au niveau de matériau (béton).

- l'intervalle $x=0_x=0.2\text{m}$

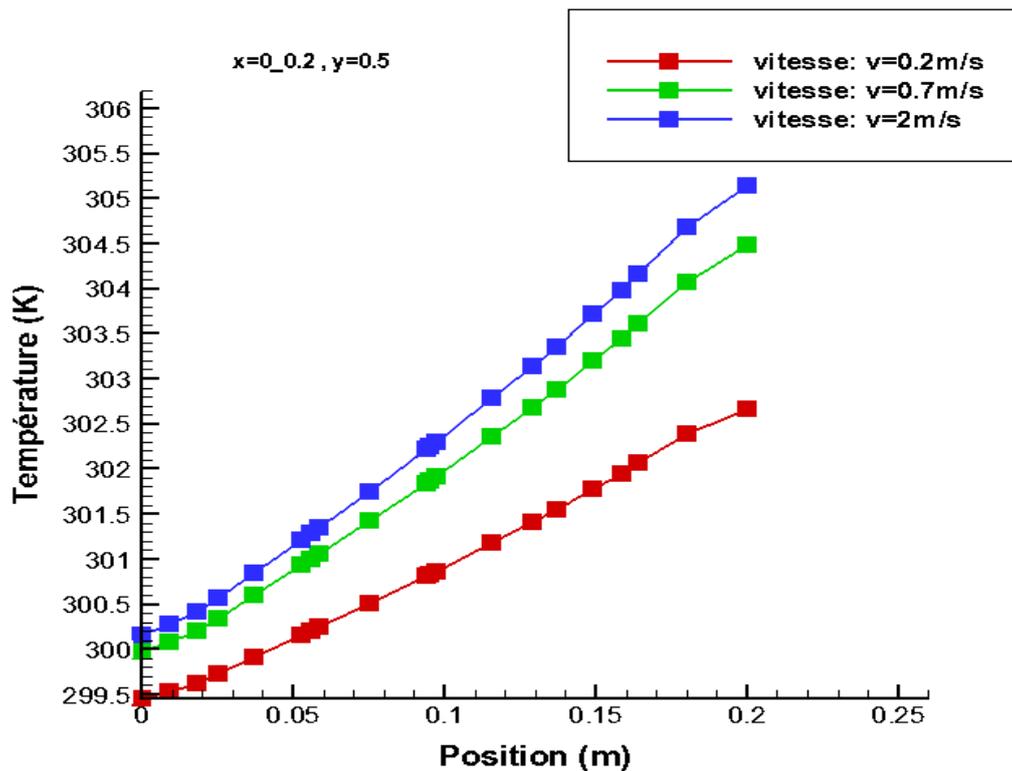


Figure (4.6): Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses .

- l'intervalle $x=0.22_x=0.42\text{m}$

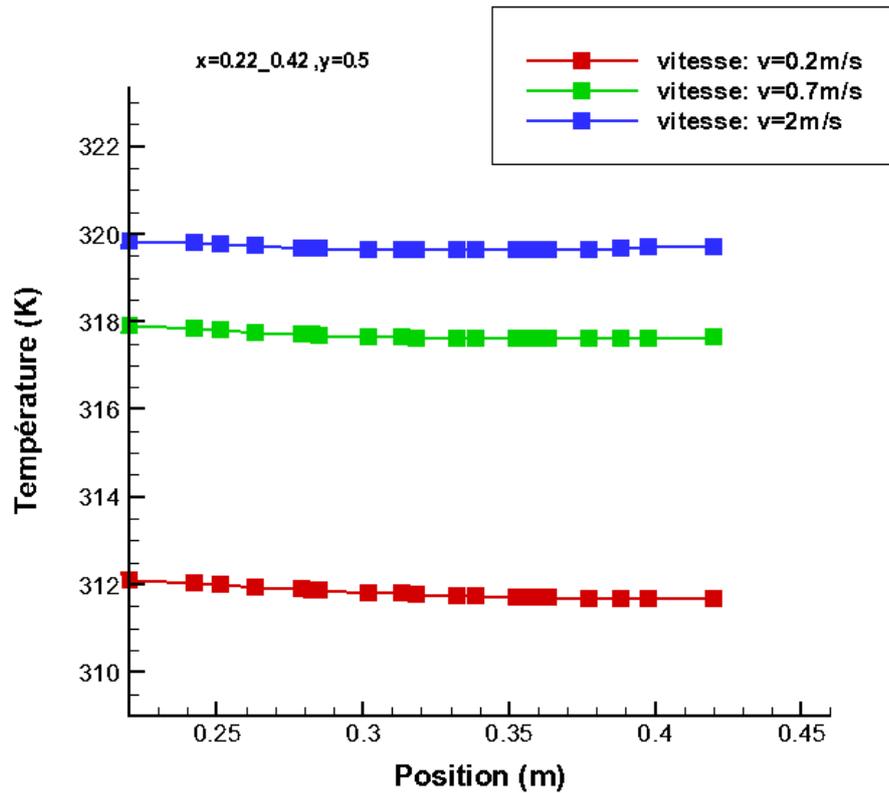


Figure (4.7) : Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses

- l'intervalle $x=0.44_x=0.64\text{m}$

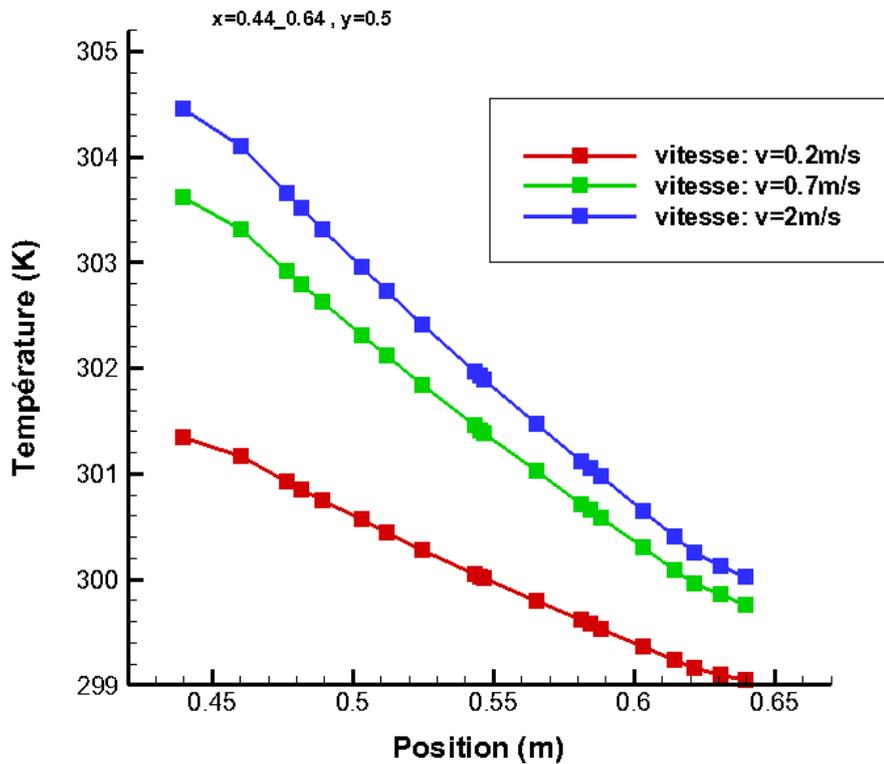


Figure (4.8) : Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses.

- l'intervalle $x=0_x=0.64\text{m}$

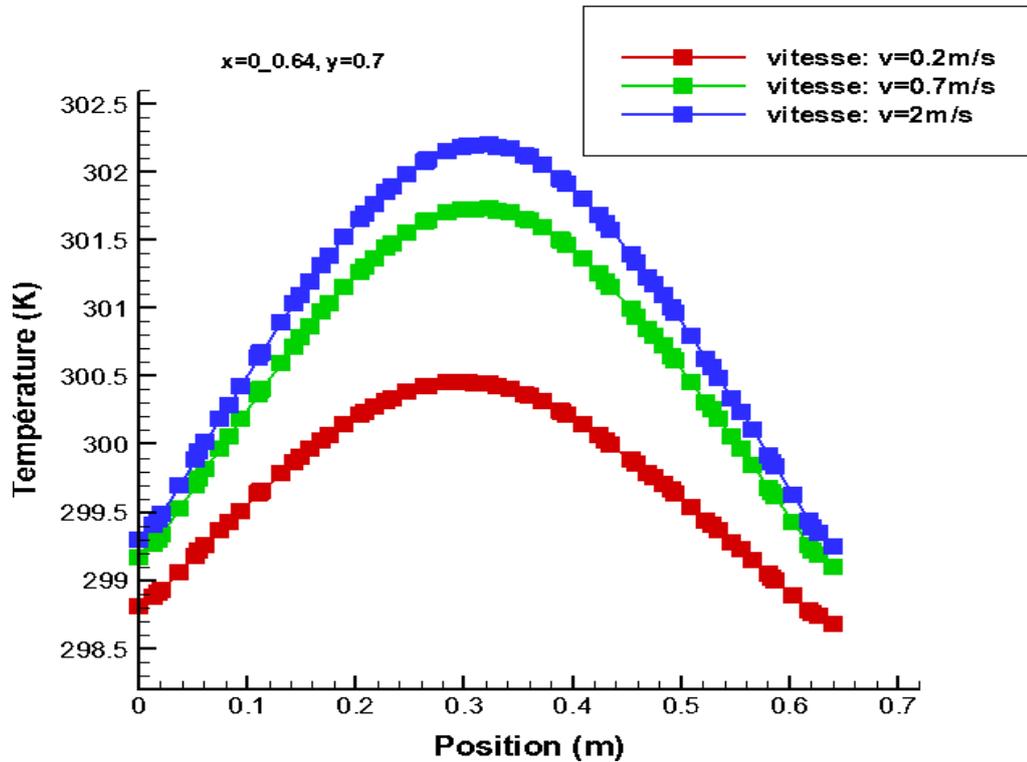


Figure (4.9) : Profil de la distribution de la température pour les trois vitesses

L'augmentation de la vitesse entraîne l'augmentation du flux de chaleur et donc la puissance calorifique admise à l'échangeur. En passant de 0,07 m/s à 2m/s, On enregistre une amélioration de l'énergie thermique échangé entre le fluide eau et la dalle en béton.

Aussi on remarque que l'accroissement de la vitesse du fluide à l'entrée du plancher chauffant (figure 4.6),(figure 4.7) et (figure 4.9) entraîne une augmentation de la pression, ce qui peut améliorer la distribution de la chaleur dans le système. Néanmoins, il est important de maintenir un équilibre optimal pour éviter une surpression qui pourrait endommager le système.

Finalement l'accroissement du débit d'eau améliore considérablement le processus de transfert de puissance calorifique admise à la dalle.

4.5 Conclusion

En analysant les résultats fournis par le code de calcul Fluent, nous pouvons faire un certain nombre de remarques concernant le fonctionnement des planchers chauffants hydrauliques.

En effet nous observons que lors de la mise en marche du système de chauffage de l'eau, la température moyenne surfacique du plancher chauffant évolue suivant trois phases :

Une première phase d'une durée d'environ 3 heures où la température évolue lentement, on appelle cette première phase « Temps de chargement »

La deuxième phase est une période de transition où la température moyenne surfacique augmente assez rapidement puis on observe une troisième phase où la température se stabilise et devient constante, cette phase fait son apparition après environ (18 h) depuis la mise en marche, on appelle cette troisième phase « le régime permanent ».

Également nous avons observé une interaction efficace entre les deux matériaux, eau-béton illustrant un transfert de chaleur conjugué significatif. Les résultats numériques ont mis en évidence la distribution de la température à travers la surface solide, distinguant clairement les zones plus chaudes des zones moins chaudes.

L'exploitation des différents résultats obtenus par le code de calcul Fluent, nous a permis de mettre en exergue des phénomènes physiques très importants dans le comportement thermique des planchers chauffant hydraulique, à savoir le temps de chargement et le temps d'établissement du régime permanent ainsi le rôle de la vitesse d'eau sur le transfert calorifique du flux de chaleur.



Conclusion Générale

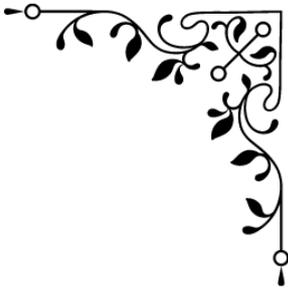


Conclusion Générale

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'établir un modèle numérique bidimensionnel basé sur la méthode des volumes finies explicite, qui est capable de prédire le comportement thermique et dynamique d'un plancher chauffant hydraulique. Pour cela une modélisation thermo- hydrique bidimensionnelle est proposée avec la prise en compte de l'évolution temporelle de la réponse thermique du plancher chauffant dans différentes conditions de travail, La simulation numérique à été effectué par le code de calcul *Fluent* 6.3.2. pour déterminer les champs de températures au niveau du plancher chauffant en régime instationnaire, basée sur la résolution des équations de Navier stocks.

En exploitant les résultats obtenus par le code de calcul, nous pouvons faire un certain nombre de remarques concernant le fonctionnement des plancher chauffant hydraulique, en effet nous observons que lors de la mise en marche du système de chauffage de l'eau, la température moyennesurfacique du plancher chauffant évolue suivant trois phases, une première phase d'une durée d'environ 3h où la température évolue lentement, on appelle cette première phase « temps de retard » ;la deuxième phase est une période de transition où la température moyenne surfacique augmente assezrapidement puis on observe une troisième phase où la température se stabilise et devient constante, cette phase fait son apparition après environ 18h depuis la mise en marche, on appelle cettetroisième phase « le régime permanent ». Donc grâce à l'exploitation des données du code de calcul, nous avons pu mettre en exergue des phénomènes physiques très importants dans le comportement thermique des planchers chauffant hydraulique, à savoir le temps de retard et le temps d'établissement du régime permanent.

Pour conclure on peut dire qu'à travers l'étude de ce projet, nous avons eu l'occasion d'enrichir et d'approfondir noscompréhensions sur les systèmes de chauffage hydraulique Nous souhaitons toutefois, que notre travail ouvre des perspectives d'améliorations très intéressante sur ce sujet. Aussi nous souhaitons que d'autres sujets vont continuer sur cettevoie pour apporter plus d'avantages d'expériences dans ce domaine.



Références Bibliographiques



Références Bibliographiques

[1] :BAHRAOUI Mohammed, BENOUIS Djamel Eddine ,Amélioration du confort thermique par intégration de matériaux isolants dans les parois de bâtiment ,Mémoire de Master ,Université Aboubakr Belkaïdde Tlemcen.,2022.

[2] :KELLOUA Toufik , BOUCHEHIDA Nacer, Simulation numérique de la climatisation en été d'un local , Mémoire Master , Université Abdelhamid Ben Badis de Mostaganem UMAB,2019.

[3] :MlleHAMEL KHALISSA, cours de confort thermique, Université Mohamed Khider Biskra p53.

Lien : <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/hamel/Confort%20thermique%2001.pdf>

[5] :Ambiance et confort thermique - Santé et Sécurité au Travail en Paca: [URL non valide supprimée], Évaluer les risques liés au travail à la chaleur –

INRS: <https://www.inrs.fr/risques/chaleur/evaluer-risques.html>,Confort thermique : généralité - Energie Plus

[6] :M. Kaboré, Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne , Mémoire de Master , Université Grenoble Alpes,27 janvier 2015.

[7] :J.L. IZARD, O. KAÇALA, Le diagramme bioclimatique, Envi robât-Méditerranée, laboratoire abc, Esna-Marseille, 2008 téléchargé le 23 février 2024 à partir du site (<Http://www.marseille.archi.fr/~izard/2008>).

[8]:The demonstration component of the Joule-Thermie programme, European commission thermie. (<Http://erg.ucd.ie/ttp.html>) 23/02/2024.

[9] :B. GIVONI, L'Homme, L'Architecture et le Climat, Edition, Le Moniteur, paris, 1978,pp39.

[10] :BENDJAOUANESoumia, LEMHERZINassira, Evaluation du confort thermique dans les anciennes bâtisses de la région d'Adrar , Mémoire de Master, UniversitéAhmedDraïad' Adrar , 2020.

[11] : F. GHANEM, Y. TARIKET, Evaluation du confort thermique dans l'habitat colonial à Alger Cas d'étude : Immeuble de rapport à cour, Mémoire de Master , Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2016.

Références Bibliographiques

- [12] :MEFTAH Zoulikha, TOUATI Amal, Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase dans les planchers de bâtiment, Mémoire de Master, université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen,2020.
- [13] :AouissiZouhair , Simulation numérique en CFD de la convection mixte autour des tubes à ailettes d'un échangeur de chaleur, Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra en 2019.
- [14] : MOKRANE Nazim, Étude du comportement thermique d'un plancher chauffant hydraulique dans une cellule de test : cas de charge/décharge thermiques,Mémoire de projet de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique-Algérie , 2019
- [15] : MICHEL MATANA, chauffage électrique et climatisation, Edition Alternatives 5, rue de pontoise 75005 paris ,125 p.
- [16] :TAKOURABT Djillali , TAMADAZT Akli ,Chauffage d'une maison individuelle par géothermie à l'aide d'une pompe à chaleur,Mémoire de Master ,Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2013
- [17]:SILAKHAL Amar, MOKRANI Ouahab ,Etude de l'installation de chauffage central du siège de daïra de Draa el Mizan ,Mémoire de Master ,Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2016.
- [19] :G.KRAUSS, (Bâtiment et énergie : Chauffage), Cours de INSA de Lyon, 2007
- [20] :SEFROU Ahmed YACINE, BETTIOUI Mohammed Riad, simulation numérique de la ventilation d'un local, Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen ,2023

Webographie

- [4] :<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>
- [18] :<https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/plafond-chauffant-avantages-inconvenients>

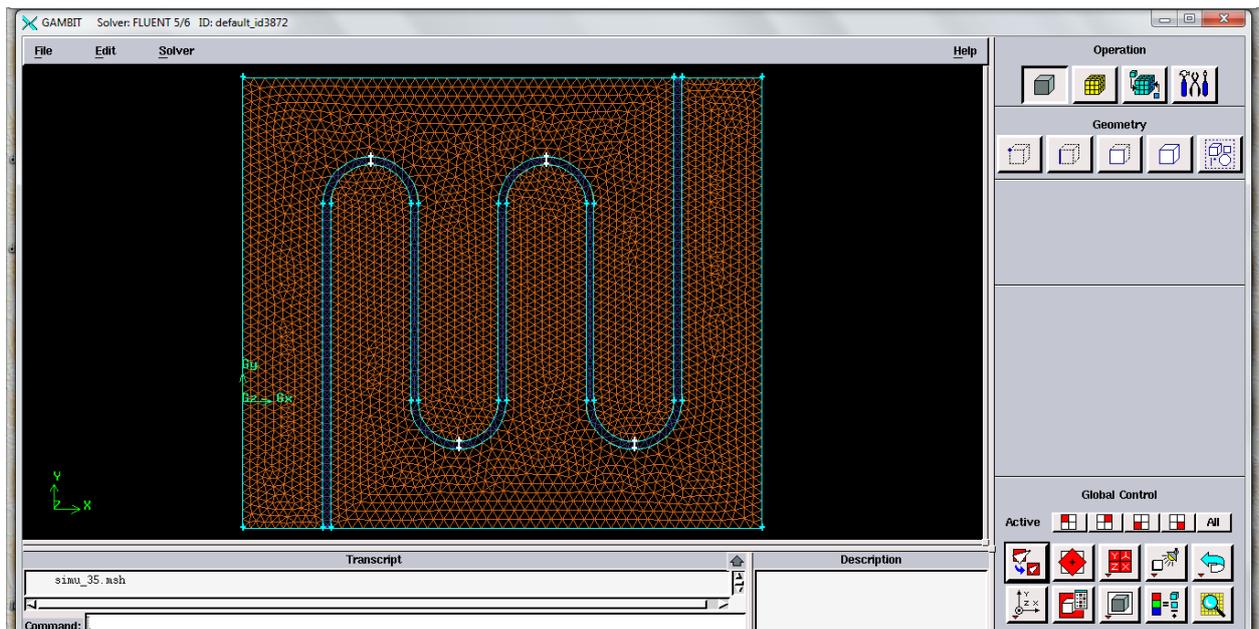
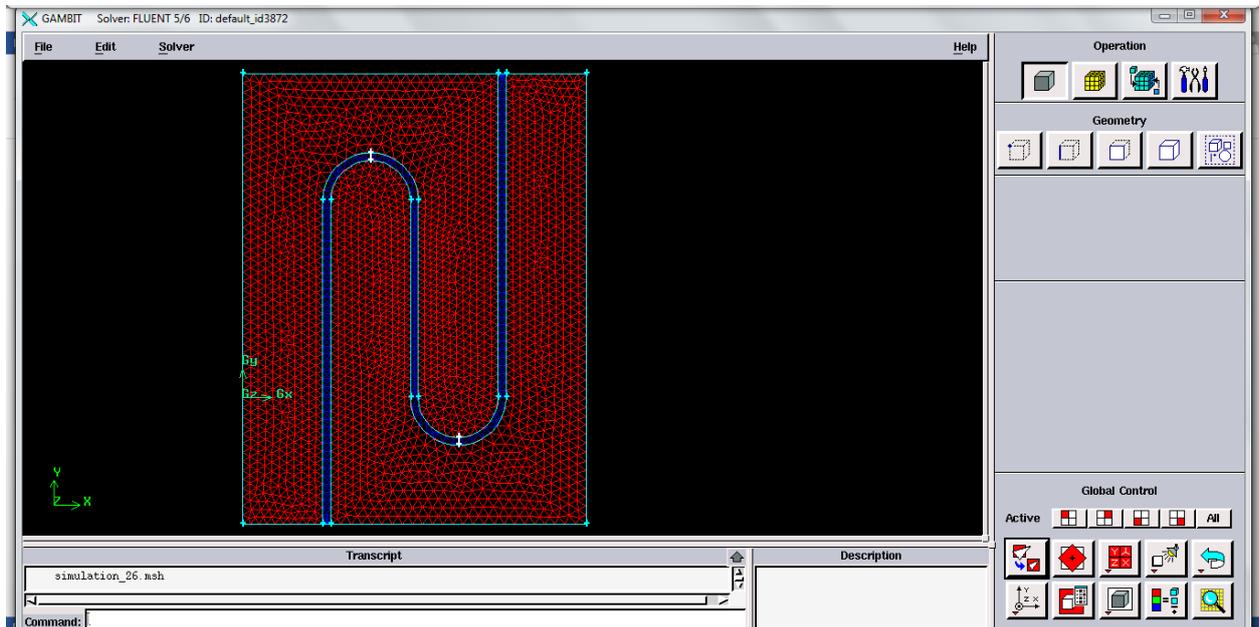


Perspectives



Perspectives

- Ajouter le nombre de pas comme le montre les figures ci-dessous.



- Utiliser ce système pour refroidir le logement, on adopte comme température de l'eau $T=5^{\circ}\text{C}$
- faire la simulation en 3D.
- Comparer les résultats avec d'autres logiciels comme COMSOL.