



**Faculté de Technologie
Département des Energies Renouvelables**

**Mémoire du Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master 2**

Option : Habitat Bioclimatique et Energies Renouvelables

Thème

**Etude du comportement thermique d'un
Plafond radiant rafraîchissant d'une maison
située au sud d'ALGER (EL-OUED)**

Proposé par : Mr. HAMID abdelkader

Présenté par : BENAZZA malia

Encadré par : Mr. HAMID abdelkader et

DERBAL soundes

KARCHI razika

Soutenu le : 11 /07/2023, devant le jury composé par :

Président

Examineur

Encadreur

Co-encadreur

ABD EL KADER hamid

MAHMOUCH wassiaa frarh

ملخص

في مشروع تخرج الماستر، أجرينا دراسة نظرية لنظام سقف مشع للتبريد في منزل فيه 3 غرف يقع في ولاية الوادي، وهي منطقة تتميز بجفاف مناخها وارتفاع درجة حرارتها. تم إجراء المحاكاة بواسطة برنامج TRNSYS. تم التأكد من صحة نتائج النظام عند المقارنة مع نتائج المحاكاة المعمول عليها سابقا في المقال العلمي لـ Tiberiu.C. قمنا بإجراء العديد من عمليات المحاكاة تحت تأثير المتغيرات التالية: (تدفق المياه ودرجة حرارة مدخل المياه وقطر الأنبوب) على أداء السقف، اتضح أنه يتم الحصول على أكبر فارق في درجة الحرارة ($\Delta T = 11.20^{\circ}C - 13.47^{\circ}C$) عندما يكون قطر الأنبوب 0.001m ودرجة حرارة المياه 15 درجة مئوية عند مدخل أنبوب المياه بتدفق قدره $0.2m^3/h$ ؛ مقارنة بالمنزل العادي.

أظهرت النتائج أن نظام التبريد بسقف مشع يوفر حلا بديلا ممتازا لتكييف الهواء التقليدي في المناخات الحارة.

الكلمات المفتاحية:

محاكاة، تبريد، سقف مشع للتبريد، تدفق المياه، درجة حرارة الابتدائية للمياه، قطر الانبوب

Résumé

Dans ce projet de fin d'études de Master, nous avons mené une étude théorique d'un système d'un plafond radiant rafraichissant dans une maison F3 situé à EL-OUED, une région caractérisée par l'aridité de son climat et ça température très élevée. La simulation a été effectuée par le logiciel TRNSYS. La comparaison de nos résultats avec aux travaux de Tiberiu.C ont montré une bonne concordance. Plusieurs simulations ont été effectué pour déterminer l'influence des paramétrés suivant : (débit d'eau, température d'entée d'eau et le diamètre de tubes) sur la performance du plafond. Il s'avère que pour une température d'entrée d'eau de 15°C et un débit d'eau de 0.2m³/h avec un diamètre de tuyaux de 0.001m; on a ça nous donne (ΔT) de 11,20°C jusqu'à 13.47°C par rapport une maison ordinaire.

Les résultats ont montré que système de rafraichissement par un plafond radiant offre une excellente solution alternative à la climatisation traditionnelle dans les climats chauds.

Les mots clé : plafond radiant rafraichissant ; TRNSYS ; débit d'eau ; température d'entrée d'eau ; diamètre de tuyaux ; ΔT .

Abstract

In this Master's graduation project, we conducted a theory study of a cooling radiant ceiling system in an F3 house located in EL-OUED, a region characterized by the aridity of its climate. The simulation was performed by the TRNSYS software. The results obtained are compared with Tiberiu.C's work. Several simulations have been carried out for the influence of the following parameters: (water flow, water inlet temperature, and tube diameter) on the ceiling performance, it turns out that for a water inlet temperature of 15 ° C at a water flow rate of 0.2 m³/h and pipe diameter of 0.001 m, and it gives us (ΔT) 11,20°C until 13.47°C compared to an ordinary house.

The results have shown that a cooling system with a radiant ceiling offers an excellent alternative to traditional air conditioning in hot climates.

Key words: cooling radiant ceiling; TRNSYS; water flow; water inlet temperature; pipe diameter; ΔT .

Remerciements

*La première personne que nous tenons à remercier
est notre encadreur le professeur HAMID
Abdelkader, directrice de recherche au C.D.E.R
madame KHARCHI Razika et le professeur SEMMAR
djaffar et aussi madame MAHMOUCHE wassiaa
farah, pour l'orientation, la confiance, la patience
qui ont constitué un apport considérable sans lequel
ce travail n'aurait pas pu être mené à bon port.
Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à
sa haute personnalité.*

*Nous tenons à remercier notre ami HANAIA
TAKI EDDINE et GUEDAA ZAINÉ EL ABIDINE
pour nous aider dans ce travail*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à
tous les professeurs qui nous ont enseignés et nous ont permis
de poursuivre nos études et qui par leurs compétences*

*On a soutenu dans la poursuite de nos
études.*

*Enfin, on remercie tous ceux qui, de très loin, ont
contribué à la réalisation de ce travail.*

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut....

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance

Aussi, c'est tout simplement que

Dédicaces

واخر دعواهم ان الحمد لله رب
العالمين

Avant tout, je remercie **DIEU** de m'avoir donné le courage et la Patience, pour accomplir ce travail

Je dédie ce travail...

A mon père **MOURAD** et ma mère **NAAIMA**

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.

A ma grand-mère et tous les membres de ma famille.

A mon cher frère **ANIS** et **CHOUAIB** ET ma sœur **RAHIL** pour leur appui et leur encouragement

A tous mes amis fidèles **RYM, HANANE et AMIRA** et une spéciale dédicace à mon binôme **MALIA** pour sa disponibilité, sa patience et sa motivation tout au long de la recherche.

A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail.

Merci à vous tous.

SOUNDES ♥

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut....

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance

Aussi, c'est tout simplement que

Dédicaces

واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين

Avant tout, je remercie **DIEU** de m'avoir donné le courage et la
Patience, pour accomplir ce travail

Je dédie ce travail...

A mon père **ABD ELMADJID** et ma mère **NADIA**

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.

A ma grand-mère, ma tante et tous les membres de ma famille.

A mes chers frères et surtout **EL HADJ EL AIDE** et **MAHMMOUDE** pour leur appui et leur encouragement.

A tous mes amis fidèles **SARAH.A** et **SARAH.B** Et une spéciale dédicace à mon binôme **SOUNDES** pour sa disponibilité, sa patience et sa motivation tout au long de la recherche.

A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail.

Merci à vous tous

MALIA ♥

Sommaire

INTRODUCTION GENERAL.....	1
CHAPITRE 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET L'ETAT DE L'ART	
I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I.2.1. Rafraîchissement.....	4
I.2.1.1. Rafraîchissement Passif.....	4
I.2.1.2. Rafraîchissement par évaporation.....	5
I.2.1.3 Rafraîchissement par ventilation.....	6
I.2.2. Plafond Radiant.....	7
I.2.2.1. Description de système.....	7
I.2.2.2. Principe de fonctionnement.....	7
I.2.2.3. Les types de système et leurs configurations.....	8
I.2.2.3.1. Nattes Capillaires	9
I.2.2.3.2. Plafond Rayonnant.....	10
I.2.2.3.3. Dalla Active.....	11
I.2.2.4. La mise en œuvre.....	12
I.2.2.5. Les avantages et les inconvénients d'un plafond radiant rafraîchissant.....	18
I.3. L'ETAT DE L'ART.....	20
I.4. CONCLUSION.....	27
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	
II.1. INTRODUCTION.....	29
II.2. PRESENTATION DE LA WILAYA.....	29
II.3. LES ZONES CLIMATIQUES DANS L'ALGERIE...29	
II.4. LES CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES DE LA WILAYA30	
II.4.1. Température.	30
II.4.2. Le vent	31
II.4.3. Humidité	31
II.4.4. L'ensoleillement.	32
II.4.5. Précipitations	33
II.5. PRESENTATION DE L'HABITATION	34
II.5.1. Description du logement d'étude.....	34
II.5.2. Plan architectural	35
II.5.3. Données architecturales de l'habitat	36
II.5.4. Matériaux de construction utilisée.	36
II.6. CONCLUSION	39
CHAPITRE 3 : Modélisation Thermique et Dynamique	
III.1. INTRODUCTION	41
III.2. SIMULATION THERMIQUE ET DYNAMIQUE	41
III.2.1. Présentation du logiciel41	
III.2.1.1. TRNSYS (version 16).	41

III.2.1.2. Simulation Studio	42
III.2.1.3. Rebuild	42
III.2.1.4. METEONORM (version 8.0.3).	42
III.3. HYPOTHESE POUR LA SIMULATION	42
III.4. APPLICATION DU LOGICIEL.....	43
III.4.1. Identification de la station météorologique.....	43
III.4.2. Création d'un fichier météorologique	44
III.4.2.1. Sous simulation studio.....	44
III.4.2.2. Sous TRNBuild.....	46
III.2.1. Spécification système.....	46
III.5. CONCLUSION	52
CHAPITRE 4 : Résultats Et Discussion	
IV.1. INTRODUCTION.....	54
IV.2. VALIDATION DE L'ARTICLE TIBERIU.C 54	
IV.2.1. Hypothèses pour la simulation	54
IV.2.2. Simulations.	55
IV.2.3. Etude comparative	61
IV.2.1. Choix de type de système	62
IV.3. ETUDE PARAMETRIQUES	62
IV.3.1. Simulation sans plafond radiant.....	62
IV.3.1.1. Résultat de simulation.....	62
IV.3.1.2. Visualisations graphiques.....	63
IV.3.1.3. Discussion des résultats.....	64
IV.3.2 Simulation avec plafond radiant rafraichissant	64
IV.3.2.1. Résultat de simulation.....	62
IV.3.2.2. Visualisations graphiques.....	63
IV.3.1.3. Discussion des résultats.....	64
IV.4. L'effet des paramètres sur la performance de système	65
IV.4.1. L 'effet du débit de fluide caloporteur sur T° intérieur de locale	65
IV.4.2. L'effet de la Température d'entrés de fluide caloporteur sur T° intérieur de locale.....	70
IV.4.3. L'effet de la condensation	73
IV.4.4. L'effet du diamètre de tube de fluide caloporteur sur T° intérieur de locale.....	74
IV.5. CONCLUSION.....	77
CONCLUSION GENERALE.....	79
Perspective	80
REFERANCES	

Nomenclature

E : Épaisseur. (m)
 Q : Débit d'eau. (M³/h)
 N : Nombre de tubes.
 S : Surface du plafond. (m²)
 S_F : Surface froide du plafond. (m²)
 s : Section transversale de tube. (m²)
 v : Vitesse d'écoulement d'eau. (m/s)

Symboles grecs

Ø : Diamètre du tube. (m)
 ΔT : L'écarte température. (C°)
 ρ : La masse volumique. (kg /m³)
 λ : Conductivité thermique. (W/m.°C)

Acronymes

AC : Air-Conditioning (Climatisation)
 AL : Active Layer (Couche Active)
 CC : Chilled Ceiling (Plafond Réfrigéré)
 CFD : Computational Fluid Dynamics (Dynamique des Fluides Numérique)
 CVC : Chauffage, Ventilation et Climatisation
 C-CRCP : Concrete Ceiling Panel Cooling (Refroidissement Des Panneaux De Plafond En Béton)
 a-DIM: adaptive Double-skin Infrared Membranes (membranes Infrarouges adaptatives à Double peau)
 DIM : Double-skin Infrared Membranes (Membranes Infrarouges à double peau)
 HTC : High Temperature Cooling (Refroidissement à Haute Température)
 OLR : Operation Limit Region (Région de Limite d'Opération)
 PCM : Phase Change Material (Matériau à Changement de Phase)
 PMV: Predicted Mean Vote (Vote Moyen Prévu)
 RCC : Radiant Cooling Ceiling (Plafond de Refroidissement Radiant)
 RFA : République Fédérale D'Allemagne
 VAV : Variable Air Volume (Volume d'Air Variable)
 UDF: User-Defined Function (User-Defined Function)
 PRR: plafond radiant rafraichissant

Chapitre I

FIGURE I.1 : BATIMENT D'UNE FAÇADE VEGETARIENNE.....	05
FIGURE I.2 : PRINCIPE DE RAFRAICHISSEMENT ADIABATIQUE.....	06
FIGURE I.3 : CONFIGURATIONS DE VENTILATION NATURELLE	06
FIGURE I.4: PLAFOND RADIANT	07
FIGURE I.5 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN PLAFOND RADIANT.....	08
FIGURE I.6 : LES DIFFERENT TYPE DE PLAFOND RADIANT.....	09
FIGURE I.7 : PHOTOGRAPHIE DU SYSTEME DE TUBES CAPILLAIRES	09
FIGURE I.8 : CONFIGURATION D'UNE NATTE CAPILLAIRE	10
FIGURE I.9 : INTEGRATION DES PANNEAUX RAYONNANT DANS DES GRANDS ESPACES.	10
FIGURE I. 10 : PLAFOND EN PROFILE D'ALUMINIUM.....	11
FIGURE I. 11 : CONFIGURATION D'UNE DALLE ACTIVE.....	10
FIGURE I. 12 : STRUCTURE DE LA DALLE ACTIVE	12
FIGURE I. 13 : NATTE CAPILLAIRE CONSTRUIT D'UN FAUX-PLAFOND.....	13
FIGURE I. 14 : NATTE CAPILLAIRE NETTOYEE D'UN ENDUITE	14
FIGURE I.15 : LES ETAPES D'INSTALLATION D'UN PANNEAU.....	14
FIGURE I. 16 : METHODE IN SITU POUR INSTALLER LA DALLE ACTIVE	15
FIGURE I. 17 : MODULE PREFABRIQUE D'UNE DALLE ACTIVE	15
FIGURE I.18 : MODEL EN PREDALLE POUCE UNE DALLE ACTIVE	16
FIGURE I. 19 : RACCORDEMENT SUR COLLECTEUR.....	16
FIGURE I. 20 : MONTAGE DE RACCORDEMENT SUR COLLECTEUR.....	16
FIGURE I. 21 : RACCORDEMENT SUR BOUCLE DE TICHELMANN	17
FIGURE I. 22 : MONTAGE DE RACCORDEMENT SUR BOUCLE DE TICHELMANN	17
FIGURE I. 23 : PHOTOS DE LA CONDENSATION DE L'HUMIDITE SOUS DIFFERENTES TEMPERATURES D'EAU GLACEE LORSQUE L'ENVIRONNEMENT THERMIQUE ETAIT DE 26 ° C, 60% HR.	20

Chapitre II

FIGURE II-1 : SITUATION DE WILAYA D'EL-OUED	29
FIGURE II-2 : TEMPERATURE EN °C A EL OUED D'APRES LE METENORM.....	30
FIGURE II-3 : TEMPERATURES JOURNALIERES MAXIMALES ET MINIMALES A EL OUED D'APRES LE METENORM	31
FIGURE II-4 : DUREE D'ENSOLEILLEMENT A EL OUED D'APRES LE METENOR.....	32
FIGURE II-5 : RAYONNEMENT GLOBAL JOURNALIER ET DIFFUSE A EL OUED D'APRES LE METENORM.....	33
FIGURE II-6: LE TAUX DE PRECIPITATION.....	33
FIGURE II-7 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE CAS D'ETUDE GOOGLE EARTH	34
FIGURE II-8 : PLAN DE MASS.....	34
Figure II.9 : Plan d'architectural	35

Chapitre III

FIGURE III.1 : CREATION D'UN FICHIER METEO SOUS METEONORM.....	43
FIGURE III.2 : SALON.....	44
FIGURE III.3 :SDB & CHAMBRE 01.	44
FIGURE III.4 :HALL	45
FIGURE III.5 : LA CHAMBRE 02.....	45
FIGURE III.6 : LA CUISINE	46
FIGURE III.7 :MUR EXTERIEUR	46

FIGURE III.8 : MUR INTERIEUR	46
FIGURE III.9 : PLANCHER HAUT.	47
FIGURE III.10: PLANCHER BAS.	47
FIGURE III.11: TAPIS NATTES CAPILLAIRES	47
FIGURE III.12 :PANNEAUX NATTES CAPILLAIRES.....	47
FIGURE III.13: PORTE	48
FIGURE III.14 :FENETRE SIMPLE	48
FIGURE III.15 :LA SIMULATION DE LA CHAMBRE 01.	48
FIGURE III.16 : LA SIMULATION DE LA CHAMBRE 02	48
FIGURE III.17 : LA SIMULATION DE SALON.	49
FIGURE III.18: INSERER LE FICHIER METEONORME DANS WEATHER DATA:.....	51
FIGURE III.19: LANCER LA SIMULATION:.....	52

Chapitre IV

FIGURE IV.1 : LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DE CELL MINIBATE.....	54
FIGURE IV.2 : LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE LYON.....	55
FIGURE IV.3 : LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE MARSEILLE.....	56
FIGURE IV.4: LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE PARIS.....	57
FIGURE IV.5 : LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE BORDEAUX.	58
FIGURE IV.6 : LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE NANTES.....	59
FIGURE IV.7 : LES TEMPERATURES MAXIMALES ET MINIMALES OBSERVEES EN FONCTION DE LE MOIS LE PLUS CHAUDE DANS LA VILLE STARSBOURG.	60
FIGURE IV.8 : LES TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES DES DIFFERENTS ELEMENTS EN FONCTION DE LA VILLE (JOUR LE PLUS CHAUD SAUF LA TEMPERATURE MOYENNE CALCULEE AU COURS DE LA SEMAINE CORRESPONDANTE.....	61
FIGURE IV.9 : LES TEMPERATURES MAXIMALES OBSERVEES DES DIFFERENTS ELEMENTS EN FONCTION DE LAVILLE (JOUR LE PLUS CHAUDE) DANS NOTRE ETUDE THEORIQUE.	62
FIGURE IV. 10 : RESULTAT DE SIMULATION SANS PLAFOND RADIANT.	64
FIGURE IV. 11 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.12 M ³ /H20°C. ...	65
FIGURE IV. 12 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.14 M3/H20°C POUR SUITE CHAMBRE	67
FIGURE IV. 13 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.16 M3/H20°C POUR LA ZONES LA PLUS CHAUDE.....	68
FIGURE IV.14 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.18 M3/H20°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE.....	69
FIGURE IV. 15 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 M3/H 18°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE	70
FIGURE IV. 16 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 M3/H16°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE.	71
FIGURE IV.17 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 M3/H15°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE	72

FIGURE IV. 18 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.18 M ³ /H20°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE.	72
FIGURE IV. 19 : LES PARAMETRES THERMIQUES DE LA ZON.....	74
FIGURE IV. 20 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.2 M ³ /H15°C ET D=0.002M	75
FIGURE IV. 21 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.12 M ³ /H20°C ET D=0.003M	76

Chapitre II

TABLEAU II.1 : REPRESENTE L'HUMIDITE D'EL OUED DANS L'ANNEE	31
TABLEAU II.2 : COMPOSITION DE MUR EXTERIEUR.....	36
TABLEAU II.3 : COMPOSITION DE MUR INTERIEUR.....	37
TABLEAU II.4 : COMPOSITION DE PLANCHER BAS	37
TABLEAU II.5 : COMPOSITION DE TOITURE	38
TABLEAU II.6 : COMPOSITION DES OUVERTURES	39

Chapitre IV

Tableau IV.1 : LES RESULTAT DES TEMPERATEUR TIRIBIEU.C ET NOTRE ETUDE THEORIQUE DANS LA VILLE DE LYON.....	75
Tableau IV.2 : LES RESULTATS DES TEMPERATURE DE CATALINA ET NOTER ETUDE THEORIQUE DANS LA VILLE DE Marseille.....	56
Tableau IV.3 : LES RESULTATS DES TEMPERATURE DE CATALINA ET NOTER ETUDE THEORIQUE DANS LA VILLE DE PARIS.....	57
Tableau IV.4 : LES RESULTATS DES TEMPERATURE DE CATALINA ET NOTER ETUDE THEORIQUE DANS LA VILLE DE BORDEAUX	58
Tableau IV.5 : LES RESULTATS DES TEMPERATURE DE CATALINA ET NOTER ETUDE THEORIQUE DANS LA VILLE DE NANTES.....	59
Tableau IV.6 : Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de STARSBOURG.....	60
Tableau IV.7 : RESULTAT DE SIMULATION SANS PLAFOND RADIANT....	65
Tableau IV.8 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.12 m ³ /h 20°C.....	68
Tableau IV.9 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.12 M ³ /H20°C POUR LES ZONES THERMIQUES.....	65
Tableau IV.10 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.14 M ³ /H20°C POUR LA ZONES LA PLUS CHAUDE.....	66
Tableau IV.11 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.16 M ³ /H20°C POUR LA ZONES LA PLUS CHAUDE.....	67
Tableau IV.12: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.18 M ³ /H20°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUDE.....	68
Tableau IV.13: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 m ³ /h20°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUD	69
Tableau IV.14 : RESULTAT DE SIMULATION POUR TOUT LES DEBITS.....	70
Tableau IV.15 : RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE de 0.20 m ³ /h18 °C LA ZONE LA PLUS CHAUD	70

Tableau IV.16: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 m ³ /h 16°C pour la zone la plus chaude.....	71
Tableau IV.17: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 m ³ /h15°C LA ZONE LA PLUS CHAUD.....	72
Tableau IV.18 : Résultat de simulation de toutes les températures d'entrés de fluide caloporteur.....	73
Tableau IV.19: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.20 m ³ /h15°C POUR LA ZONE LA PLUS CHAUD.....	75
Tableau IV.20: RESULTAT DE SIMULATION AVEC PLAFOND RADIANT DE 0.2 m ³ /h20°C LA ZONE LA PLUS CHAUD	75
Tableau IV. 21 : RESULTAT SE SIMULATION DE TOUS LES DIAM7TRES	76

Introduction Générale

Au cours des dernières années, en particulier dans les pays en développement, il y a eu une augmentation significative de la consommation d'énergie à l'échelle mondiale.

La part de la consommation d'énergie mondiale attribuée aux systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) dans les bâtiments oscille entre 16% et 50% de la consommation totale d'énergie. Le secteur d'habitation est le plus gros consommateur d'énergie en Algérie avec 45.5% du total [1].

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelque temps encore [2].

Parmi les solutions utilisées pour réduire la pollution et diminuer la consommation énergétique est le champ radiant thermique.

Dans des recensions récentes de la littérature sur la recherche et la pratique en matière de confort thermique, le champ radiant thermique a reçu peu d'attention, en grande partie du nombre limité de développements dans ce domaine.

Dans de nombreux pays, les systèmes radiants sont maintenant couramment utilisés comme alternative confortable et efficace en énergie dans les bâtiments. Le transfert de chaleur des systèmes radiants est différent de celui des systèmes tout-air classiques puisque le refroidissement/chauffage est assuré par rayonnement et par convection à partir d'une surface refroidie/chauffée. Afin de décrire le transfert de chaleur entre la surface radiante et la pièce, des coefficients de transfert de chaleur sont souvent utilisés. Les coefficients de transfert de chaleur sont des valeurs couramment utilisées pour les calculs concernant le comportement thermique des systèmes radiants, telles que le calcul et le dimensionnement de la charge. La surface radiante sert de limite entre le côté de la pièce et le côté du système (système mécanique), par conséquent, la compréhension du processus de transfert de chaleur à la surface est cruciale pour l'ensemble de la conception des systèmes radiants.

En Algérie, l'utilisation de l'énergie pour refroidissement connaît un léger développement car les indicateurs de confort thermique sont différents de ce qu'ils étaient.

Comment peut-on satisfaire ces besoins utilisant les systèmes radiants et quel est l'effet et l'incidence du plafond radiant rafraichissant sur le confort thermique ?

L'objectif de ce travail est de concevoir et d'étudier un système de refroidissement par panneaux radiants et de voir son impact sur le confort thermique de notre habitation dans les conditions climatiques dans le sud d'Alger.

Procure un confort thermique utilisant le system de plafond rafraichissant tout en réduisant la consommation énergétique et en réduisant le phénomène de condensation à l'intérieur de la maison.

Notre recherche comprend quatre chapitres :

Premièrement, introduction générale.

Le premier chapitre (Recherche bibliographique et l'état de l'art) : Nous avons pu, en effectuant une recherche bibliographique et en examinant l'état de l'art, tirer une généralité sur le plafond radiant rafraîchissant.

Le deuxième chapitre (Présentation du cas d'étude) : le document comprend une présentation de notre étude de cas ainsi que des paramètres du climat extérieur tel que la température de l'air, la température et la vitesse du fluide caloporteur, l'humidité relative, etc.

Le troisième chapitre (Modélisation) : Comprend la simulation thermique à l'aide du logiciel de STD TRNSYS, pour voir l'impact du système sur le confort dans l'habitation.

Le quatrième chapitre (Résultats et discussions) : Contient des interprétations et discussions des résultats obtenus.

Et on finit avec conclusion générale.

CHAPTER I :

Recherche Bibliographique et L'état de L'art

I.1. Introduction :

Le rafraîchissement d'un bâtiment peut se référer à plusieurs choses, mais cela implique généralement l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et le maintien d'une température confortable pour les occupants. Parmi les nouvelles solutions pour rafraîchir les bâtiments des plafonds radiants rafraichissants qui sont utilisés aujourd'hui dans certains pays d'Europe comme une alternative efficace et confortable aux climatiseurs traditionnels pour rafraîchir les locaux (les bâtiments commerciaux, les grands espaces résidentiels, les bureaux, ... etc.).

Notre travail traite le comportement thermique des espaces intérieurs d'une habitation rafraîchi par un plafond rayonnant et de voir son impact sur le confort thermique du bâtiment dans les conditions climatiques du Sud Alger.

I.2. Recherche Bibliographique :

I.2.1. Rafraîchissement :

I.2.1.1. Rafraîchissement Passif :

On peut définir le rafraîchissement passif comme l'ensemble des techniques qui permettent de réduire le sur-échauffement d'un espace à travers le contrôle thermique et des méthodes naturelles de rafraîchissement [3]. Elles sont conçues pour compléter (et parfois même remplacer ou remplir) le rôle des systèmes actifs déjà en place, il s'agit de limiter l'impact environnemental via l'usage de solutions, moins consommatrices en énergie et préserver le confort d'été des habitants via la recherche d'une température d'équilibre; encourager une mise à jour passive à la fois à l'échelle de la ville et du bâtiment implique quatre points d'action [4] :

- Végétaliser l'environnement du bâtiment ;
- Limiter les effets du rayonnement directs et la montée en température des parois opaques ;
- Limiter les effets du rayonnement directs et la montée en température de l'habitat via les parois vitrées ;
- Rafraîchir le milieu ambiant.

Ces principes permettent donc d'atteindre les objectifs suivants : pendant la journée, protéger l'habitat contre les rayonnements solaires et la nuit, favoriser la circulation de l'air en utilisant des systèmes tels que la ventilation naturelle, la sure ventilation, le géo coin, les brasseurs d'air, et autres.



Figure I.1 : Bâtiment d'une façade végétarienne [5]

I.2.1.2. Rafraîchissement par évaporation :

Appelé aussi le rafraîchissement adiabatique, également connu sous le nom de bioclimatisation. Les stratégies de rafraîchissement par évaporation sont employées par les concepteurs depuis longtemps. Les exemples du bâtiment rafraîchi de cette manière sont nombreux, tout au long de l'histoire de l'architecture, dans les zones à climat chaud et sec [3].

C'est un processus écologique qui consiste à transformer l'air chaud extérieur en air frais. L'air chaud et sec est refroidi en passant à travers un échangeur humide et l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est extraite de l'air. Ce processus naturel peut être observé près des points d'eau où la température est plus basse en été. Le phénomène du rafraîchissement est dû au changement d'état de l'eau qui passe de l'état liquide à l'état gazeux. Il conduit à une réduction de la température [3].

Cette méthode est comparable au phénomène naturel que l'on observe ordinairement près des zones aquatiques où la température est plus basse en été. Afin de répondre au mieux aux besoins et exigences des différents occupants d'un bâtiment, il est possible actuellement d'utiliser divers équipements autonomes fixes sur les façades et toits ou mobiles à même les locaux.

Ces solutions répondent aux besoins et aux demandes de différents utilisateurs des locaux [4].

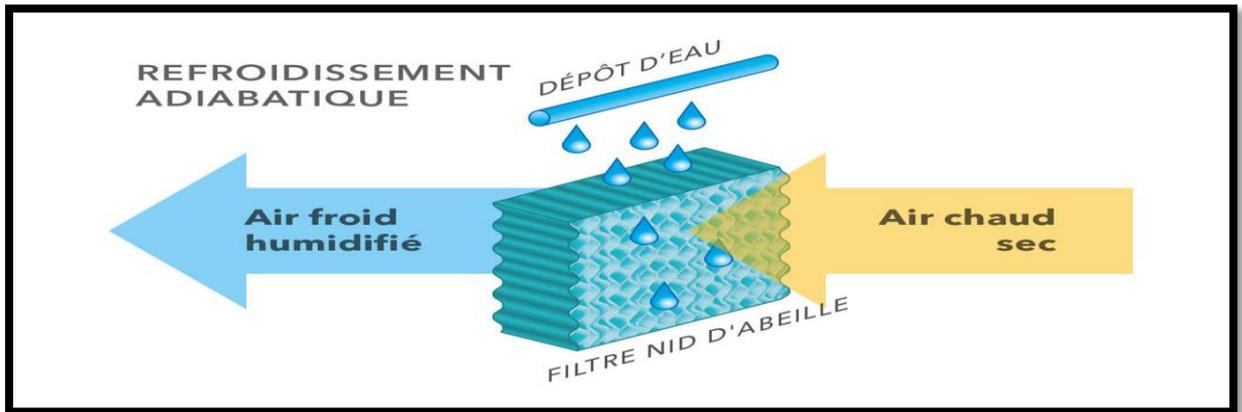


Figure I.2 : Principe de rafraîchissement adiabatique [6]

I.2.1.3. Rafraîchissement par ventilation :

Ce procédé est le plus communément utilisé, quand l'air passe près d'un corps avec une température plus élevée, ce dernier cède une partie de ses calories, apportant du rafraîchissement. De plus, le mouvement de l'air augmente l'évaporation du corps humain en améliorant la dissipation des calories en excès [1].

La ventilation de confort est principalement utile pendant la journée et améliore la sensation de confort des utilisateurs. La vitesse de l'air ne doit pas être excessive car cela peut causer de l'inconfort.

Le rafraîchissement par convection, qui implique la ventilation, utilise de l'air à une température inférieure à la température intérieure du bâtiment, qui se produit principalement la nuit. Ce type de refroidissement est souvent lié au stockage de la réfrigération en raison de la masse thermique.

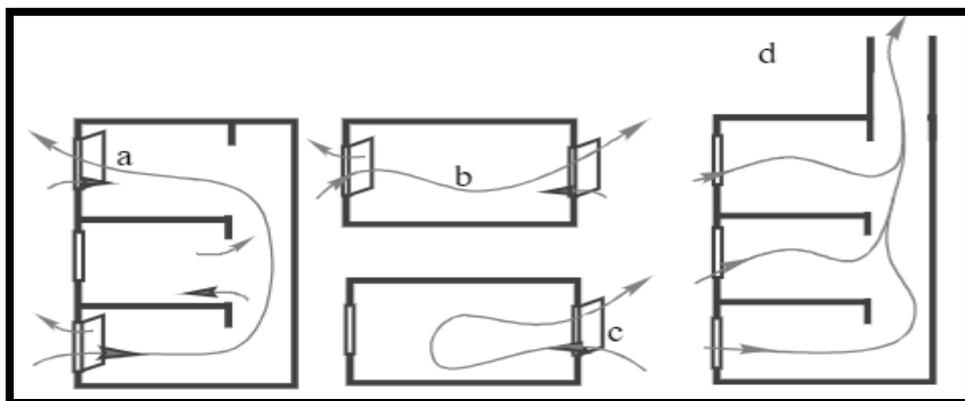


Figure I.3 : Configurations de ventilation naturelle [7]

a : ventilation à deux ouvertures ;

b : ventilation traversant ;

c : ventilation à ouverture unique ;

d : ventilation avec cheminée.

I.2.2. Plafond Radiant :

I.2.2.1. Description de système :

Le plafond rayonnant est un système utilisé pour répondre aux besoins de chauffage et de refroidissement, il se présente sous la forme d'une surface rayonnante constituée de tuyaux dans lesquels circule un fluide caloporteur (l'eau), cette surface rayonnante est incorporée dans le plafond de l'espace concerné.

La sensation de confort produite par un plafond froid peut être comparée à celle ressentie lors d'une nuit d'été où l'on sent la fraîcheur de la voûte céleste, même si la température de l'air ambiant peut être supérieure à 25°C [8].



Figure I.4 : Plafond Radiant [9]

I.2.2.2. Principe de fonctionnement :

En principe, un plafond de radiant ne diffère pas beaucoup d'un radiateur à tubes ou à plaques. Le système se compose d'un réseau de tuyaux ou de conduits installés au plafond, le fluide caloporteur circule dans la tuyauterie et refroidit / chauffe la surface visible du plafond et l'échange par radiation avec les personnes présentes dans la pièce.

- **Plafond chauffant** : en mode chauffage, l'air chauffé occupe toujours la partie supérieure d'une pièce où se trouve une surface de panneau rayonnante chaude, l'air froid tombera et s'accumulera dans la partie inférieure de la pièce. Un très faible mouvement de l'air le long de la direction du plafond peut être observé en raison de la convection limitée, en d'autres termes, le rayonnement entre la face supérieure du panneau radiant et la surface interne du mur domine plus fortement le transfert de chaleur que celui en mode de refroidissement [10].
- **Plafond rafraichissant** : le réseau de tuyaux ou de conduits installés au plafond est raccordés à un refroidisseur ou à une unité de réfrigération. L'eau réfrigérée ou le frigorigène circule dans les tuyaux ou les conduits, refroidir la surface visible du plafond. Chaque élément est raccordé en parallèle au collecteur général d'eau froide pour induire une distribution homogène de température superficielle du plafond [8]. L'air chaud arrivant au contact de la surface fraîche du plafond est refroidi au-dessous de la température moyenne du local pour redescendre à basse vitesse dans la zone d'occupation [11].

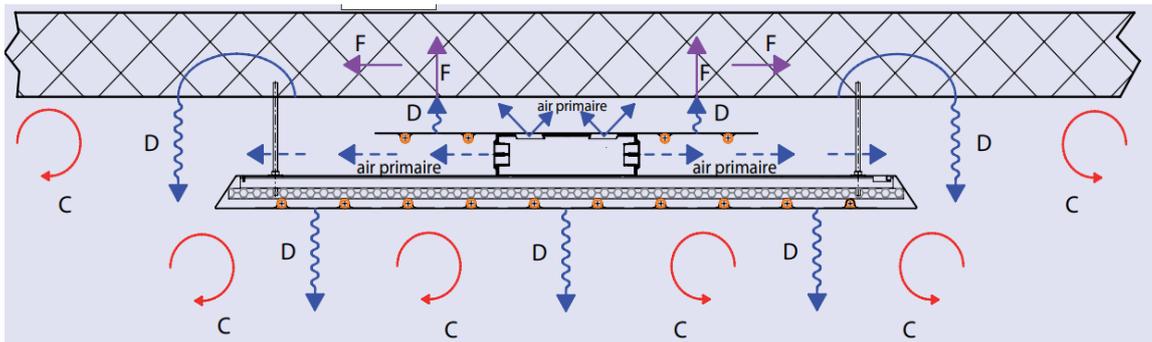


Figure I.5: Principe de fonctionnement d'un plafond radiant [12]

C = Convection

F = Flux énergétique

D = Diffusion

I.2.2.3. Les types de système et leurs configurations :

Il y a trois principaux types du plafond radiant :

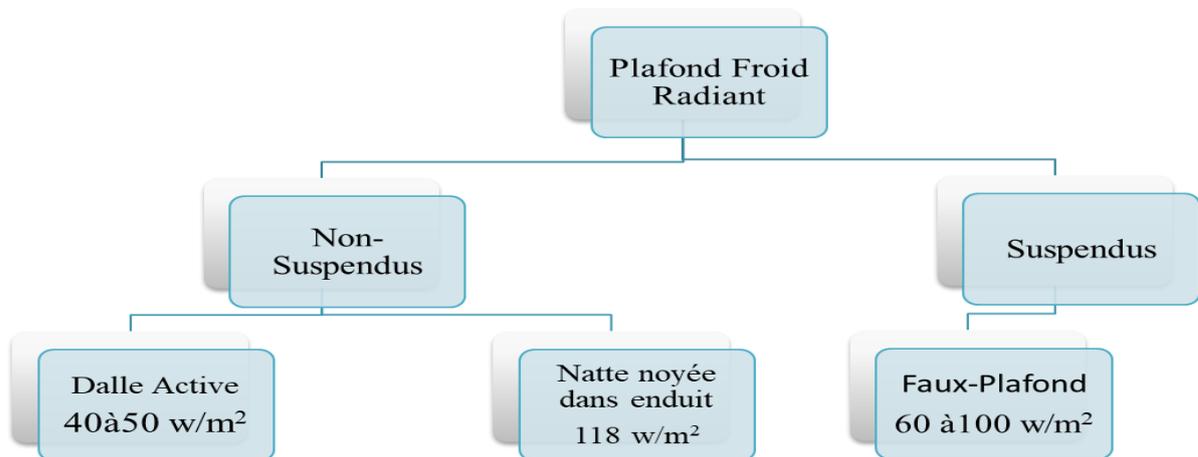


Figure I.6 : Les différents types de plafonds radiants

I.2.2.3.1. Nattes Capillaires :

Cette technique convient aussi bien à la construction neuve (pour les bâtiments conçus pour limiter le gain solaire et la chaleur interne) qu'à la rénovation, car elle élimine le besoin de percer des murs pour les conduits d'air encombrants et permet la réutilisation des systèmes de chauffage existants. En raison du risque de condensation, ce système n'est pas recommandé pour les zones humides. Ce système présente une très faible inertie.

Pour éviter le risque de voir les tubes capillaires se boucher, il est recommandé d'utiliser de l'eau déminéralisée.

Ils sont groupés en nattes couchées sur les plaques constituant le parement du plafond suspendu et sont parcourus par de l'eau rafraîchie. Une variante consiste à noyer les nattes dans le crépi de finition de la dalle, ce qui est avantageux en cas de manque de hauteur de local. La puissance frigorifique est d'environ 50 W/m² dans le premier cas et atteint 90 W/m² dans le second. [11]

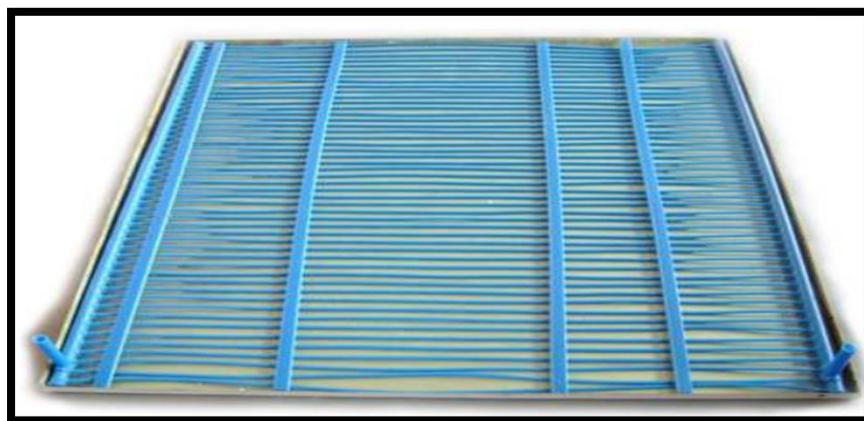


Figure I.7 : Photographie du système de tubes capillaires [8]

➤ La configuration :

Des nattes capillaires synthétiques des petits diamètres similaires aux spaghettis, d'environ 2,5 mm de diamètre intérieur. Typiquement, ces tapis sont fabriqués à partir de polypropylène (qui est produit par polymérisation du propylène, CH₆). Ce système fournit une température de paroi plus uniforme. Ils sont groupés en nattes couchées sur les plaques constituant le parement du plafond suspendu et sont parcourus par de l'eau rafraîchie. La hauteur minimale nécessaire est fonction de l'ensemble des équipements à placer dans le faux plafond. Au cas où seule la fonction thermique est présente, la hauteur minimale requise est l'ordre de 55 mm [13].

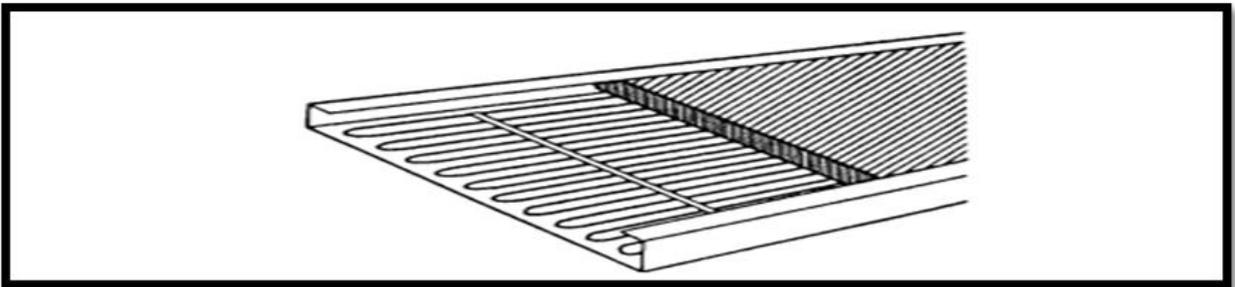


Figure I.8 : Configuration d'une natte capillaire [11]

I.2.2.3.2. Plafond Rayonnant :

Cette méthode de diffusion de chaleur par le plafond reprend le principe du rayonnement solaire qui émet de la chaleur de haut en bas. Relié à un système hydraulique de pompe à chaleur réversible, il rafraîchit l'espace en été et apporte un confort thermique dans l'habitation tout au long de l'année. Ce système est assez peu répandu à cause de leur prix de vente élevé. Ils délivrent une puissance de l'ordre de 90 W/m²[11].



Figure I.9: Intégration des panneaux rayonnant dans des grands espaces [14]

➤ La configuration :

Les plafonds en profilés d'aluminium extrudé, avec tube cuivré rapporté ou clips sur le panneau [12]. Ils sont compatibles avec le système traditionnel de plafond suspendu "Tee-grid" ou en tant qu'élément suspendu libre. Les largeurs sont généralement de 0,6 m. Les longueurs varient 0,6 à 3,7 m ou plus. En conséquence, la surface de l'absorbeur en aluminium n'est que d'environ 0,76 mm (calibre 22) et la tuyauterie d'eau de refroidissement en cuivre thermocollé est généralement de 12 mm de diamètre ou moins, et sur environ 150 mm centres. Les agencements de pépins de panneaux sont généralement en forme de serpent. Cependant, en-tête parallèle des arrangements est disponibles sur demande [15]. Il est obligatoire de mettre la hauteur minimale requise de 2,40m sous plafond. Parfois, il faut retirer 10 centimètres pour éviter une surchauffe au centre du dispositif.

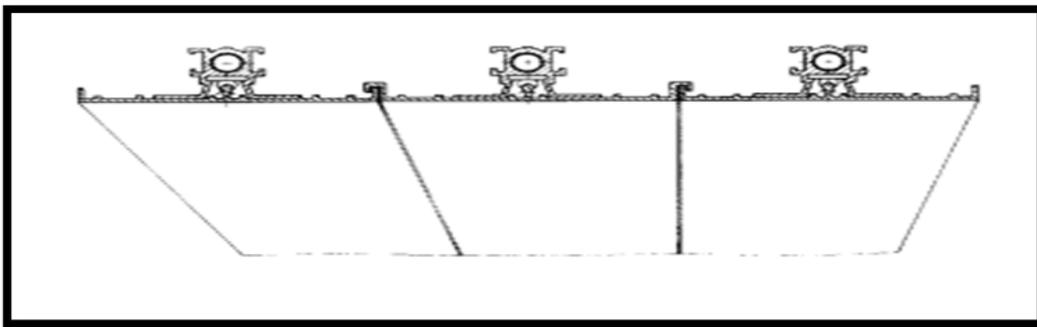


Figure I.10 : Plafond en profilé d'aluminium [11]

I.2.2.3.3. Dalla Active :

Le principe fondamental est d'incorporer des canalisations dans la dalle de chaque étage, qui sont traversées par de l'eau froide. Cette technique est réversible. En raison de la grande surface d'émission et de la masse des panneaux « actifs », le système se caractérise par une inertie thermique importante qui peut être utilisée à des fins de stockage ; mais l'impossibilité de maîtriser le risque de condensation en cas de remontée rapide de l'humidité de l'air dans le local. La puissance est d'environ 60 W/m^2 [11].

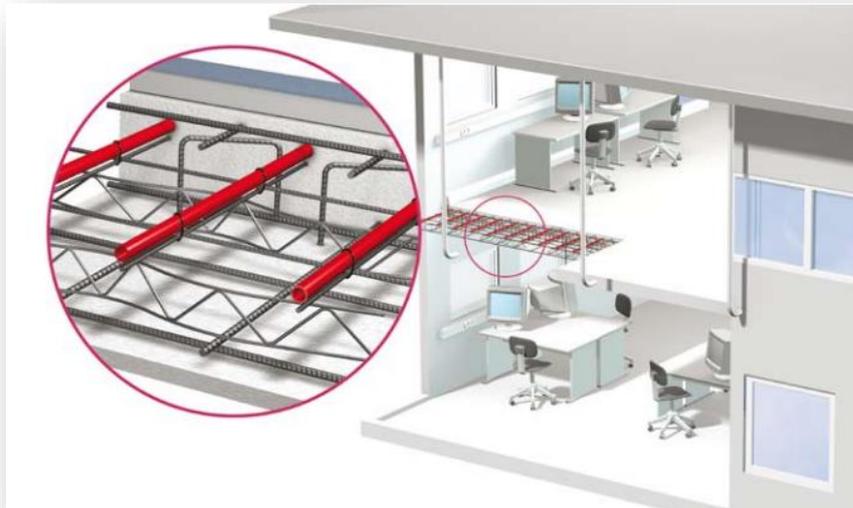


Figure I.11 : Configuration d'une dalle active [16]

➤ La configuration :

La dalle active est constituée d'une grille de tubes en matière plastique, noyée en partie basse de la dalle de plancher [11]. Dans ce système, la puissance de refroidissement dépend du régime de température utilisé, de l'espacement entre les tuyaux, de leur profondeur, de la composition de la dalle et de la température ambiante. De plus, le rayonnement de refroidissement émis vers le bas est augmenté par l'effet de l'isolation de la finition du sol.

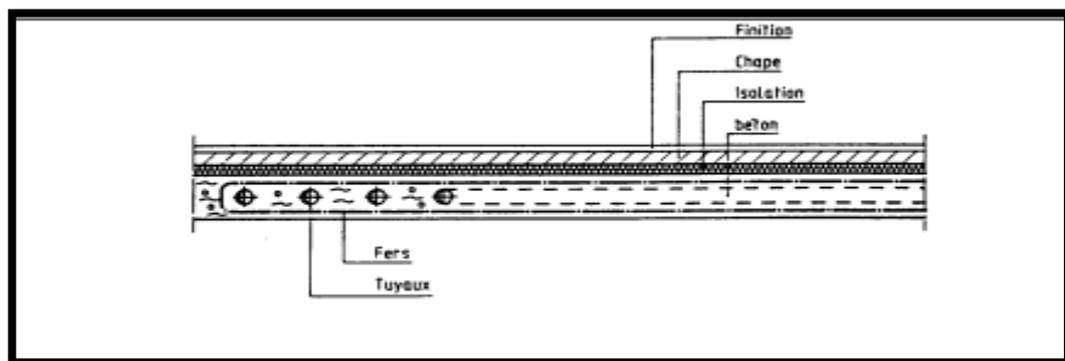


Figure I.12: Structure de la dalle active [11]

I.2.2.4. La mise en œuvre :

La mise en œuvre d'un plafond rafraîchissant radiant implique plusieurs étapes :

1. Conception : avant de commencer la mise en œuvre, il est important de bien concevoir le système de plafond rafraîchissant radiant pour répondre aux besoins spécifiques du bâtiment et des occupants.

2. Installation du système : L'installation peut varier selon les types de plafonds radiants, mais généralement elle est délicate.

➤ **Nattes Capillaires :** Il y'a deux méthodes pour installer ce système :

- **Construit dans les modules de faux plafonds :** Construit dans les modules de faux plafonds : la natte est placée sur un panneau métallique perforé qui est intégré dans des modules de faux plafonds. Ensuite, une couche isolante est ajoutée avant qu'une seconde plaque métallique ne soit placée dessus pour comprimer l'ensemble et assurer un bon contact entre la natte et le panneau. Pour permettre un accès facile à l'espace technique situé au-dessus de chaque module, une fixation par charnière est utilisée. Bien que le plastique ne soit pas rigide et que les contacts soient partiels, cela est compensé par la surface totale qui entre en jeu grâce à la multiplicité des tubes [13].



Figure I.13 : Natte capillaire construit d'un faux-plafond [17]

- **Fixé sur les parois du local (plafond en plaque de plâtre, murs, ...) :** Ensuite, il est recouvert d'un enduit de type crépi ou d'un revêtement de finition conventionnelle. De cette manière, toute la paroi devient rayonnante. C'est une technique idéale pour la rénovation de locaux anciens et peut même être utilisée pour les murs courbés [13].

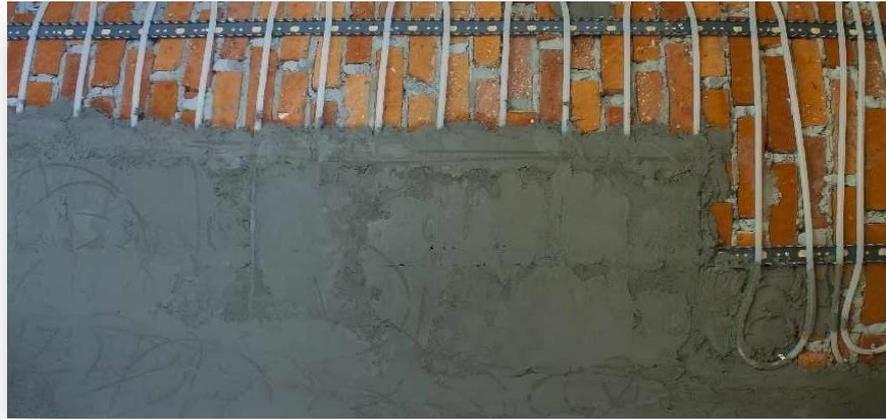


Figure I.14: Natte capillaire nettoyée d'un enduite [SITE WEP]

- **Panneaux radiants :** Le montage du plafond suit les étapes habituelles de l'installation d'un faux plafond en panneaux métalliques traditionnels. Tout d'abord, en se référant au schéma de projet, on place les attaches, puis on fixe les supports aux éléments porteurs ; pour la structure croisée, on utilise les supports pour les éléments porteurs principaux et les éléments porteurs principaux de tête ; pour la structure parallèle, on utilise les supports pour les éléments porteurs et les supports pour les éléments de tête. Les supports se fixent au plancher supérieur à l'aide des équerres et des barres à œillets. Ensuite, on procède à la mise à niveau des éléments porteurs [14].

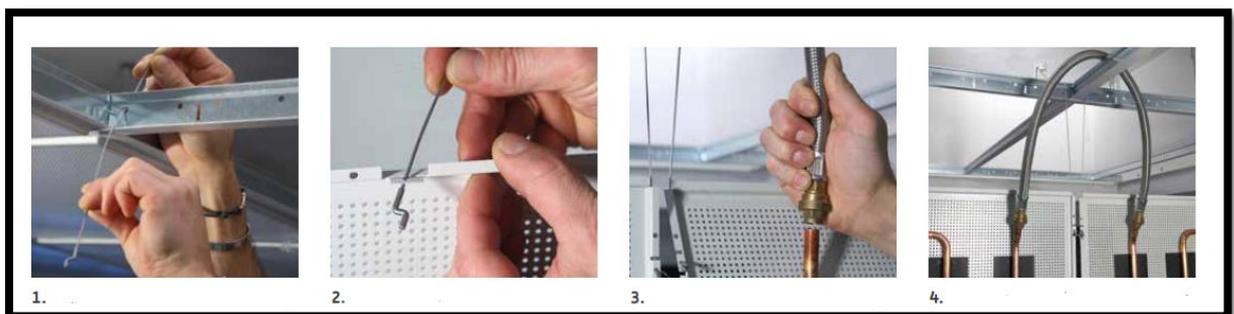


Figure I.15: Les étapes d'installation d'un panneau [14]

- **Raccordements hydrauliques** : les panneaux appartenant au même circuit sont reliés en série alors que le premier et le dernier panneau de la série le sont au collecteur de distribution duquel ils dépendent, l'un au départ et l'autre au retour [14].

- **Dalle active** : les canalisations peuvent être installées au centre des dalles en béton de manière à ne subir aucune tension ou compression. Cependant, selon un constructeur, ce critère est peu important car les tuyaux, qui sont nettement plus souples que le béton, peuvent facilement absorber les variations de longueur. Le critère le plus important est la répartition de la chaleur et du froid si les deux services sont utilisés : en abaissant les tuyaux aux deux tiers 2/3 de la dalle, par exemple, la puissance en froid et le temps de réponse peuvent être améliorés. Ces canalisations restent inaccessibles en cas de forage accidentel [18]. Il existe trois techniques de mise en œuvre sont possibles :
- **In situ** : méthode implique de dérouler la conduite et de l'attacher directement à un treillis spécifique ou à l'armature existant de la dalle. Par conséquent, elle sera généralement effectuée sur des surfaces plus petites que celles traitées à l'aide d'autres techniques.



Figure I.16 : Méthode In situ pour installer la dalle active [18]

- **Module préfabriqué** : les conduites sont déjà fixées en usine sur un treillis ou sur le ferrailage en fonction des exigences de participation à la reprise de charge de la dalle. Les dalles arrivent donc sur chantier par module et sont assemblées selon le plan de calepinage, afin d'atteindre la surface du circuit voulue [18].



Figure I.17 : Module préfabriqué d'une dalle active [18]

- **En prédalle** : comme son nom l'indique, les conduites sont placées et livrées sur une prédalle. [18]

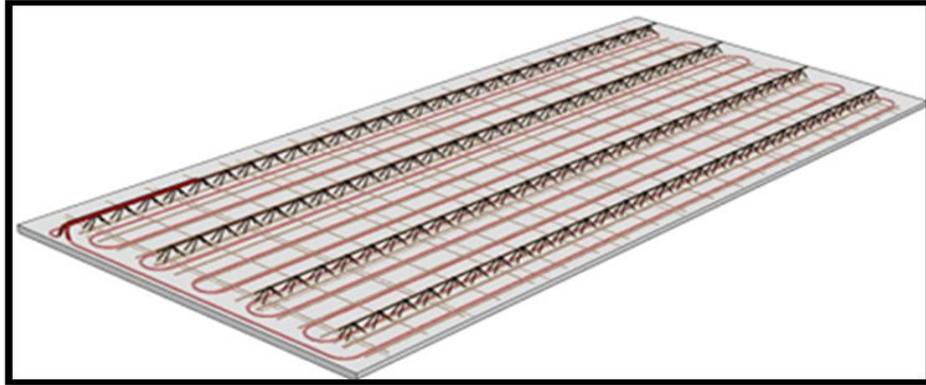


Figure I.18: Model en prédalle poue une dalle active [18]

Les conduites de la dalle active doivent être installées après la mise en place du système électrique [18].

- **Raccordements hydrauliques :**

Plusieurs modules/conduits peuvent être reliés entre eux à l'aide des raccords spécifiques afin de former un seul circuit [18].



Figure I.19 : Raccordement sur collecteur [18]

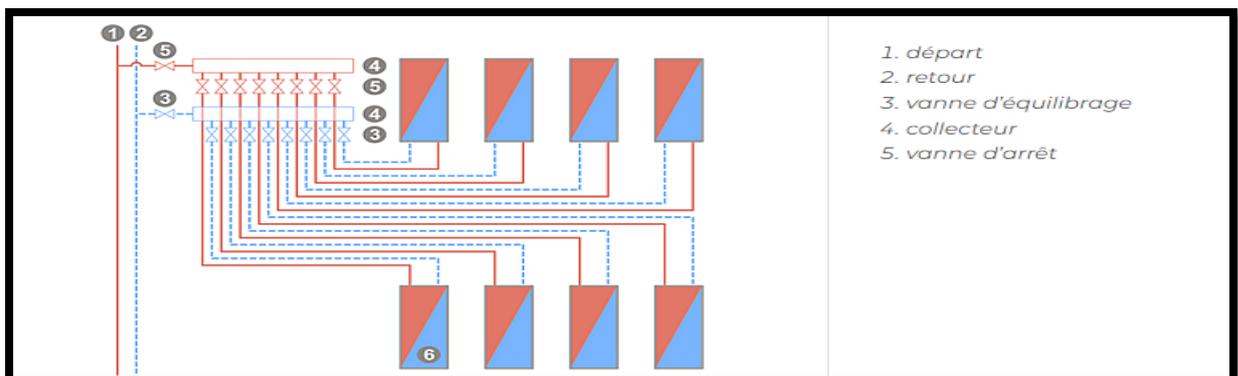


Figure I.20:Montage de raccordement sur collecteur [18]

Les modules peuvent être raccordés sur le collecteur ou sur une boucle de Tichelmann. Un accessoire spécifique doit être employé pour traverser la dalle et se connecter au collecteur [12].

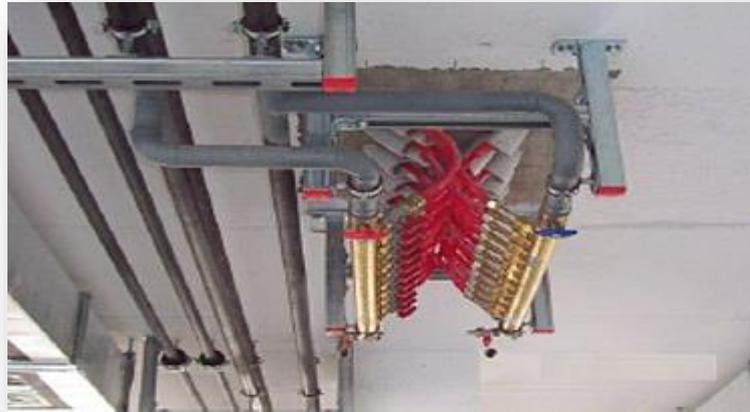


Figure I.21: Raccordement sur boucle de Tichelmann[18]

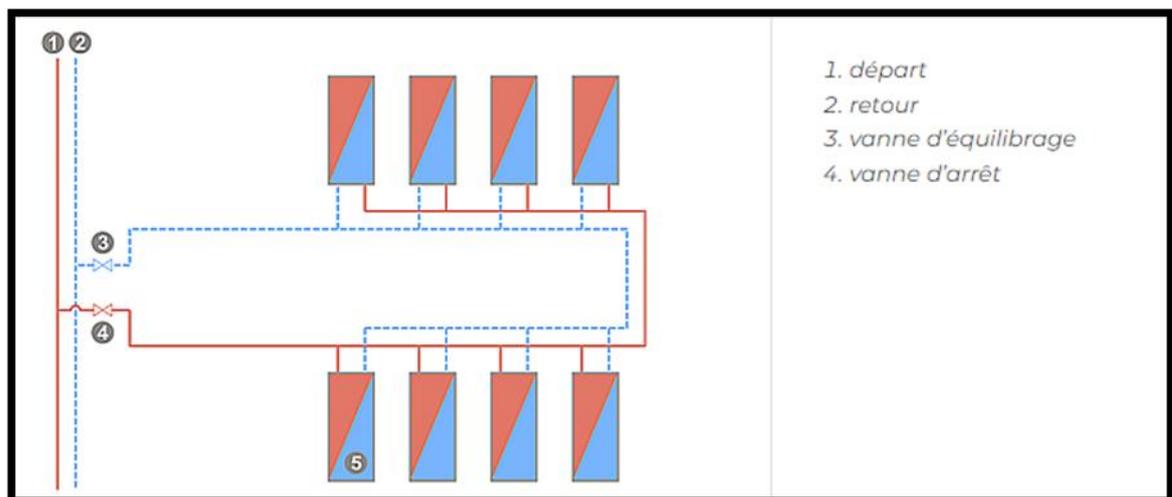


Figure 1.22 : Montage de raccordement sur boucle de Tichelmann [18]

3. Étanchéité : la pose du plafond rafraîchissant radiant doit être étanche pour éviter les fuites d'eau. Il est donc important de bien sceller les joints et les connexions.

4. Raccordement électrique : le système doit être raccordé à une source d'alimentation électrique pour permettre la circulation de l'eau froide.

5. Mise en service : une fois le système installé, il doit être rempli avec de l'eau froide et mis en service.

- **Production de l'eau froide :** Il existe 4 moyens pour produire de l'eau froide :

- **Free-chilling** : une tour de refroidissement ou un échangeur sur le toit peuvent être utilisés pour refroidir l'eau.
- **Une variante de géothermie** : consiste à utiliser un échangeur à plaques eau/eau pour exploiter l'eau refroidie par de l'eau pompée dans une nappe phréatique. Le fonctionnement peut alors se produire à tout moment.
- **Par échangeur sol/eau** : un échangeur sol/eau permet la circulation de l'eau sous le bâtiment. La présence d'une nappe phréatique potentielle autour des conduits renforce le refroidissement. La puissance frigorifique, également appelée géothermie ou géocooling, varie de 10 à 25 w/m de courant. Il peut alors fonctionner 24h/24 et 7j/7.
- **Machine frigorifique traditionnelle** : une machine frigorifique conventionnelle peut utiliser l'eau en complément d'une des sources mentionnées ci-dessus afin de réduire la température pendant les périodes de forte chaleur.

Il est recommandé de faire appel à des professionnels pour l'installation d'un plafond rafraîchissant radiant afin d'assurer une qualité de travail optimale et une sécurité maximale.

1.2.2.5. Les avantages et les inconvénients d'un plafond radiant rafraîchissant :

✓ Les avantages :

- **Efficacité énergétique**: un plafond de refroidissement peut être plus économe en énergie que les systèmes de climatisation traditionnels. Il nécessite moins d'énergie pour refroidir la surface du plafond que pour refroidir toute la pièce, et il peut bien fonctionner avec des sources d'énergies renouvelables telles que la géothermie ou l'énergie solaire ;
- **Le transport du froid** : un plafond de refroidissement peut être plus économe en énergie que les systèmes de climatisation traditionnels. Il nécessite moins d'énergie pour refroidir la surface du plafond que pour refroidir toute la pièce, et il peut bien fonctionner avec des sources d'énergies renouvelables telles que la géothermie ou l'énergie solaire ;
- **Le traitement** : par ce système le traitement des zones internes est moins encombrant que par la climatisation en VAV ou par ventilo-convecteurs ;
- **Confort**: Un plafond rafraîchissant peut offrir des conditions plus confortables aux occupants que la climatisation traditionnelle. La recherche a démontré que: transfert de chaleur rayonnante les gens se sentaient plus à l'aise que la convection thermique

lorsque le transfert de chaleur se produisait directement entre la surface de refroidissement et le corps humain [19].

- **Santé:** un plafond rafraîchissant peut aider à améliorer la qualité de l'air intérieur. Comme il ne repose pas sur le soufflage d'air, il ne fait circuler ni poussière ni allergènes, ce qui peut être bénéfique pour les personnes allergiques ou souffrant de problèmes respiratoires ;
- **Esthétique:** un plafond rafraîchissant peut être une option attrayante pour les architectes et les concepteurs. Le système peut être installé de manière transparente dans le plafond, offrant un look épuré et moderne.

✓ Les inconvénients :

- **Coûts d'installation élevés:** un système de plafond de refroidissement peut être plus coûteux à installer qu'un système de climatisation traditionnel, surtout s'il doit être installé ultérieurement dans un bâtiment existant. Le coût du système lui-même, ainsi que le coût d'installation, peuvent être importants ;
- **Capacité de refroidissement limitée:** ce système peut ne pas être suffisant pour refroidir de très grandes pièces ou des espaces avec de hauts plafonds. Dans ces situations, des systèmes de climatisation supplémentaires peuvent être nécessaires pour compléter le refroidissement fourni par le plafond de refroidissement ;
- **Condensation:** un système de plafond de refroidissement peut créer de la condensation si la température de surface du plafond est inférieure au point de rosée. Donc cela peut entraîner des gouttes d'eau au plafond qui peuvent potentiellement au fur et à mesure endommager le bâtiment ou bien son contenu.
 - Et pour la réduire, il existe des solutions citées au-dessous
 - L'addition d'un système de régulation adapté pour l'élimination totale de son risque [8].
 - Idéalement, il est préférable d'éviter la déshumidification forcée de l'air (qui consomme beaucoup d'énergie). Pour y parvenir, il convient de produire du froid avec une température d'eau la plus élevée possible. Il est conseillé utilise un régime de température d'eau de 16°-20°.

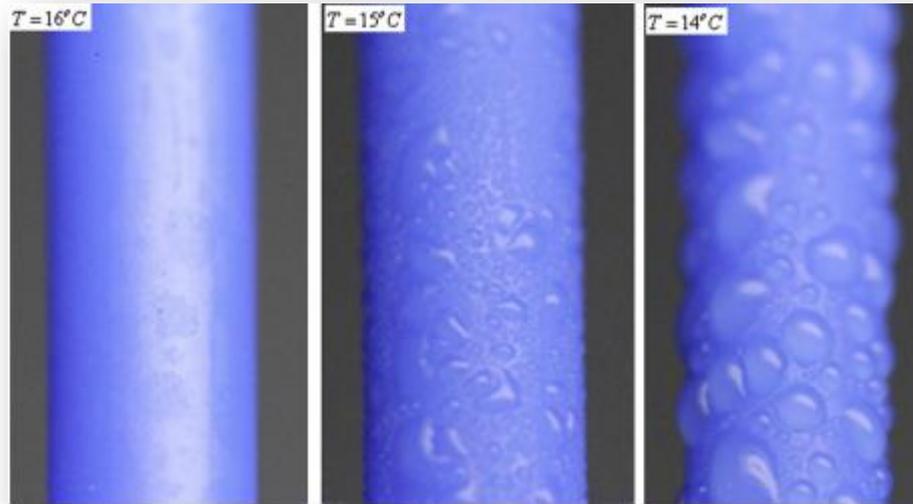


Figure I.23: Photos de la condensation de l'humidité sous différentes températures d'eau glacée lorsque l'environnement thermique était de 26 ° C, 60% HR. [20]

- Cette figure n° 23 a analysé les stratégies d'exploitation possibles qui peuvent être utilisées pour réduire la chaleur latente utilisée dans la condensation de la surface du tube capillaire [20].
- Il est préférable de faire la canalisation de type de tuyauterie sinueuse que type tuyauterie en spirale pour éviter la condensation ; selon (Shigeru Okamoto et al 2009) [21].

I.3. L'état de l'art :

Plusieurs travaux et recherches sur le plafond radiant ont été présentés dans la littérature, on cite quelques-uns :

En 1998P. Pepinster [11] ont présenté dans ce document les techniques actuelles qui permettent de répondre à l'exigence d'absence de courant d'air sur les lieux de travail, et d'assurer le bien-être de l'homme dans le domaine climatique. La technique présentée « tout soft » est développée de manière importante aux Pays-Bas par P. Pepinster [11], en Suisse et en RFA. Ce système semble sur le point de supplanter les techniques traditionnelles en raison de ses qualités intrinsèques.

Et en 2002 J. Miriel et al [22] ont fait cette étude dans le but d'évaluer l'efficacité du chauffage et de la climatisation, déterminer les limites thermiques du système selon les charges de chauffage et de refroidissement ainsi que la mise au point des conditions climatiques et la validation d'un modèle de simulation de panneau de plafond d'eau. Cette étude expérimentale a été réalisée dans un laboratoire situé à Rennes situé à l'ouest de France et financé par le Centre de Recherche Gaz de France, une campagne d'essais pendant deux hivers et un été a été menée. Le système de panneaux de plafond étudié était fait de tuyaux en cuivre avec des ailettes de diffusion en aluminium rigides. Les matériaux utilisés présentaient une bonne conductivité de chauffage et le panneau radiant du plafond était à action rapide. Les résultats de la simulation du système de chauffage et de refroidissement au plafond avec des coefficients de transfert de chaleur uniformes ont été satisfaisants. Cela nous a permis d'étendre notre travail à la consommation énergétique annuelle et aux conditions de confort thermique dans un bâtiment de bureaux.

En 2006 T. Catalina et al [23] ont étudié la capacité du plafond rafraîchissant par rayonnement (RCC) à fournir un meilleur confort et une moindre consommation d'énergie dans les bâtiments préfabriqués par rapport aux bâtiments conventionnels. Aussi pour étudier le risque de condensation sur le panneau de plafond et essayer de trouver des solutions, notant que la simulation a été effectuée par TRNSYS.

Les résultats ont montré qu'au cours de la période estivale où les températures de l'air des bâtiments préfabriqués peuvent atteindre 35°C, le plafond rafraîchissant peut assurer presque le même confort thermique comme les systèmes de climatisation (AC) mais avec des économies d'énergie qui ont atteint 21,5%. Une autre caractéristique importante du plafond rayonnant est sa réversibilité car il peut être utilisé également pendant la saison hivernale pour le chauffage. Le plafond rayonnant peut-être intégré sur ces structures légères offrant de bonnes conditions intérieures en termes de température intérieure, d'humidité et sans aucun risque de condensation pendant la période estivale. Des économies d'énergie pourraient atteindre plus de 30 % dans les climats chauds et secs et 20 % dans les climats tempérés en utilisant le panneau de plafond radiant fait de nattes capillaires. RCC.

De plus, en 2007 Tiberiu Catalina et Joseph Virgone [24] ont fait cette étude dans le but d'étudier les performances thermiques et l'effet sur le confort thermique d'un plafond rafraîchissant. On a installé ce système dans une salle d'essai expérimentale appelée Minibat d'une surface de 9,6 m² et avec un contrôle des températures des parois extérieures de la cellule.

La Minibat était l'environnement idéal pour cette étude expérimentale. Les panneaux de plafond étudiés étaient équipés de tapis capillaires en polypropylène. Pendant l'expérience les différents cas où la température de surface du plafond variait entre 15°C et 19°C sont analysés, et les différents paramètres tels que la température de l'air, l'humidité ou la température de surface du plafond ont été mesurés. Pour évaluer le confort thermique, nous avons calculé la valeur du PMV pour différentes températures de surface de plafond réfrigéré. Les résultats obtenus après l'expérience ont montré qu'avec un plafond de refroidissement, l'asymétrie verticale de la température était inférieure à 1,1°C, qui était une valeur acceptable, le plafond de refroidissement pourrait assurer le confort thermique intérieur avec de bonnes performances thermiques en termes de vitesse de refroidissement spécifique ou d'asymétrie verticale de la température.

En 2008 Tiberiu Catalina et al [25] ont fait une campagne expérimentale à grande échelle et une étude de la dynamique des fluides computationnelle (CFD) d'un plafond de refroidissement radiant installé dans une salle d'essai, dans des conditions contrôlées. Le but de cette recherche est d'utiliser les résultats des deux études pour analyser le confort thermique intérieur en utilisant PMV. Les résultats des simulations ont d'abord été validés avec les données des expériences, puis les champs de vitesse de l'air ont été étudiés. Les résultats expérimentaux obtenus pour différentes températures de plafond réfrigéré ont montré qu'avec un plafond rafraichissant le gradient de température vertical est inférieur à 1 °C/m. Cet article présente aussi la technique de radiositè utilisée pour calculer la température radiante moyenne pour différentes positions le long des différents axes. La méthode a été basée sur le calcul des facteurs de vue et sur les températures de surface obtenues à partir des expériences. Les tracés PMV ont montré que le confort thermique est atteint et uniformément réparti dans la salle d'essai.

En 2009, pour déterminer les coefficients de transfert thermique influencés par les surfaces radiantes dans des conditions d'occupation typiques des bureaux ou des immeubles ou d'appartements. Des tests expérimentaux ont été réalisés par Francesco Causone et al [26], dans une chambre d'essai. On a simulé les gains internes au moyen de cylindres chauffés et les pertes de chaleur au moyen de surfaces refroidies. En conclusion Les données élaborées pour le plafond de chauffage indiquent les mêmes valeurs de coefficient de transfert de chaleur radiante, comme le plafond de rayonnement refroidi ($\sim 5,6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) Les températures superficielles dans la chambre ont des valeurs allant de 20 °C et 33 °C, Encore trop faible pour influencer significativement le transfert linéaire des calculs du coefficient thermique rayonnant.

En 2012 Manuel Andrés-Chicote et al [27] pour présenter des preuves supplémentaires sur la capacité de refroidissement et les coefficients de transfert de chaleur pour un plafond radiant refroidissant. L'expérience a été réalisée dans une salle d'essai climatique dont la température est stable mais non contrôlée, caractérisée par une surface au sol de 12,96 m² et une hauteur interne de 3,00 m, les deux panneaux radiants installés à l'intérieur de la salle d'essai sont supportés par une structure métallique horizontale située à une hauteur de 2,80 m, elle est équipée d'une pompe à chaleur air-air. Ainsi, une surface totale d'échange de chaleur de 4,79 m² était disponible. Les résultats ont montré que la puissance de refroidissement d'un plafond rayonnant ne peut pas être étudiée ou estimée sur la base de la température de fonctionnement comme la température de référence unique et de son coefficient correspondant. Donc les phénomènes rayonnants et convectifs doivent par conséquent être considérés séparément. Cependant, un coefficient de transfert de chaleur total moyen de 8,5 Wm⁻²K⁻¹ a été obtenu, ce qui est bien inférieur à ceux de la littérature.

En 2013 Y.L. Yin et al [21] ont fait cette recherche pour axer sur la compréhension des performances détaillées du panneau de refroidissement radiant lorsqu'il est utilisé comme système de climatisation. Pour étudier les principaux facteurs d'influence d'un système de refroidissement radiant, une plate-forme expérimentale (Trois panneaux de refroidissement radiants d'une superficie de 0,16 m² ont été préparés pour l'étude et une chambre d'environnement à température et humidité constantes a été utilisée pour simuler les différents environnements thermiques intérieurs) a été conçue et construite; le système utilisait un thermostat pour générer de l'eau glacée à une température définie spécifique. Les résultats ont montré que l'état d'écoulement de l'eau glacée avait la plus grande influence sur les performances de transfert de chaleur des panneaux de refroidissement par rayonnement. On a également observé que la différence de température entre l'eau réfrigérée et l'air ambiant affectait de manière significative la performance. On a noté que la condensation de l'humidité sur les panneaux de refroidissement par rayonnement augmentait la quantité de transfert de chaleur, mais posait un défi lors de l'utilisation du panneau de refroidissement par rayonnement. En tenant compte des performances de transfert de chaleur et de condensation d'humidité, le panneau de refroidissement radiant en gypse a montré les meilleures performances par rapport au panneau de refroidissement radiant en métal et au panneau tubulaire pur. Les panneaux de refroidissement par rayonnement peuvent fonctionner plus efficacement, en particulier lorsque des stratégies de contrôle appropriées sont utilisées pour éviter la condensation.

En 2014, Tiberiu Catalina et Joseph Virgone [8] ont présenté une modélisation et une simulation d'un plafond rafraichissant à l'aide de nattes capillaires en tant que moyen de transport d'énergie. Le plafond rayonnant a été simulé dans une salle virtuelle créée au moyen de l'environnement de calcul connu sous le nom de TRNSYS, il est essentiel de prévoir un système de ventilation afin de limiter l'humidité ambiante.

Les résultats obtenus montrent que les nattes capillaires peuvent être un excellent moyen d'assurer le confort thermique avec un moindre coût énergétique. Avec un système de régulation adapté, le risque de condensation est complètement éliminé. L'échange de chaleur par circulation d'eau permet aussi de fonctionner sans nuisance sonore et fait du plafond froid une bonne solution pour la climatisation des bâtiments.

Aussi en 2014, le Dr. E. T. Mohamed¹, Prof. K. N. Abdalla² [28], ont fait cette enquête avec pour principal objectif l'étude d'un système de refroidissement par panneaux radiants sur un type de bâtiment à petite échelle (bureau) dans les conditions climatiques Soudan (Khartoum). L'essai expérimental a été réalisé à l'aide d'un circuit de refroidissement intégré, d'un refroidisseur d'eau, d'un ventilateur-convecteur et de panneaux de refroidissement radiants. Le programme informatique utilisé dans les expériences était (Matlab) pour calculer le flux de chaleur transitoire à travers les murs et le plafond de l'espace conditionné.

Les résultats de cette expérience ont démontré que Le système de refroidissement par panneaux radiants s'avère très adapté à un environnement chaud et aride, il est dédié pour économiser de la puissance de 17,3% et 26,1% du système VAV dans le cas où l'air de recirculation et l'air frais sont à 100% utilisés dans chacun.

De plus, en 2015 Lin Su et al [19] ont présenté les caractéristiques de transfert de chaleur et de refroidissement du panneau radiant du plafond en béton. La chambre C-CRCP était située à Changsha, en Chine. Construite à l'intérieur pour maintenir un environnement plus stable et éviter l'impact du soleil et de la pluie. Il y avait deux espaces distincts dans la chambre (Un modèle mathématique bidimensionnel) de transfert thermique à l'état stationnaire a été développé en utilisant la méthode de la différence finie. Le transfert de chaleur dans le panneau de béton a été simulé numériquement. Les températures intérieures de la surface du panneau de béton ont été obtenues. Les résultats ont montré que sous la même distance des tubes encastrés, il y avait une corrélation positive entre la température moyenne de surface du panneau et la température de la surface externe du tube. Il a également évité des pertes. L'inertie thermique du C-CRCP était très importante. La capacité de refroidissement du C-

CRCP était liée à l'approvisionnement de la température et le débit de l'eau directement. Il était plus important lorsque l'eau d'alimentation était plus froide et que le débit d'eau était plus élevé simultanément.

En même année, Esmail M. Saber et al [29], ont revu et résumé les articles récemment publiés sur les applications des systèmes de refroidissement à haute température dans les régions tropicales. Les résultats de cette enquête que les systèmes HTC peuvent offrir la possibilité de réduire la taille du ventilateur et la taille du conduit pour la circulation de l'air et réduire de moitié la consommation d'énergie du ventilateur par rapport à tout système d'air; aussi lorsque la température de l'eau glacée fournie à HTC est inférieure au niveau du point de rosée extérieur, une condition confortable est réalisable dans toutes les conditions intérieures/extérieures. Bien qu'en parallèle un système d'air conditionné soit nécessaire pour éviter la condensation sur l'appareil HTC. Le faible mouvement de l'air dans cet espace intérieur était le seul problème de confort signalé pour les occupants acclimatés localement sous les tropiques. Une stratégie de contrôle doit être suivie pour éviter la condensation au démarrage et à l'arrêt du système dans les bâtiments tropicaux. Dans le cas du système de refroidissement de la dalle, un décalage entre les horaires de fonctionnement du HTC et la période d'occupation,

Dans le but d'étudier la réduction du risque de condensation pendant le refroidissement par rayonnement de plafond avec traitement super-hydrophobe sur l'homme en 2016. Haida Tang et al [30] ont effectué une expérience sur l'étude de la taille des gouttelettes de la surface hydrophobe et conventionnelle (surface alliage d'aluminium). Les résultats ont montré que la surface super hydrophobe peut réduire de manière significative le risque de condensation des systèmes de plafond de refroidissement par rayonnement. Cela s'explique par le fait que les rayons des gouttelettes de condensation produites par la coalescence des surfaces super-hydrophobes sont inférieurs à ce seuil, tandis que les gouttelettes de rayonnement causées par la gravité peuvent être perçues avec une probabilité de plus de 95 %.

En 2016 Yongli Yuan et al [31] ont développé une méthode simple permettant de déterminer la capacité de refroidissement pour déterminer les courbes caractéristiques de base pour le refroidissement des systèmes de panneaux radiants de plafond. Au cours de cette expérience, un modèle de tapis tubulaires capillaires a été d'abord mis au point, puis validé à l'aide des données expérimentales disponibles pour étudier la relation entre la capacité de refroidissement spécifique et la différence de température. Ils ont compris 12 tests, la température de l'air intérieur conçue passe de 24 °C à 30 °C, tandis que la température de

l'eau d'alimentation peut changer dans une plage de 14 °C à 20 °C. Les résultats de la simulation conduisent à une nouvelle corrélation pour la puissance frigorifique totale et le coefficient de transfert de chaleur total. Les corrélations ont une signification physique claire et une expression simple.

En 2019 Yongli et al [32] ont vu que les principales caractéristiques d'un système radiant en termes de relation inhérente entre le flux thermique total et la température de surface ont été analysées pour aider les fabricants et les ingénieurs à améliorer la conception, la configuration et la régulation des systèmes radiants afin d'améliorer le développement et l'amélioration des produits. Cette étude a examiné deux types de panneaux radiants dont la méthode proposée comprend des modèles qui peuvent être appliqués à des applications générales telles que la conception et le dimensionnement du système. La région limite de fonctionnement du système radiant a été identifiée (OLR) et proposée en traçant les paramètres clés sur une surface, y compris la température de l'eau d'alimentation, la température de surface du panneau, de température de fonctionnement ainsi que la densité du flux thermique total. Les résultats dans cette région (comme un losange) on constate que la densité de flux thermique total et la température de surface du panneau radiant des systèmes de plafond radiant sont mutuellement confinées.

En 2021 Youness Khattari et al [33], ont fait une étude pour montrer les avantages énergétiques et thermiques de l'utilisation de PCM dans un système de plafond de refroidissement contrôlé et intégré dans une pièce aérée. L'expérience est avec trois climats du Maroc représentant trois types de climats différents de Koppen-Geiger. Des simulations ont été réalisées dans un climat d'écoulement turbulent et transitoire intégrant les fluctuations réelles de la température ambiante au moyen d'une UDF. Les résultats ont démontré que l'utilisation de la paraffine C13 comme PCM dans le plafond de refroidissement sous les climats de Fès et Ifrane était bénéfique avec une économie d'énergie de 17,07% et 16,30% respectivement. Il a également été constaté que la consommation d'énergie a diminué de seulement 02,23% avec le climat de Marrakech Par conséquent, la cire de paraffine C13 n'est pas jugée suffisamment bénéfique pour ce type de climat.

Jan Skovajsa et al [34] en 2022, ont traité la possibilité d'utiliser des MCP dans les systèmes de plafond de refroidissement pour réduire drastiquement les variations de température de l'air et les besoins énergétiques pour le refroidissement. La vérification expérimentale du système proposée a permis de déterminer les paramètres réels dans différents modes de fonctionnement et leur comparaison avec le même système de plafond de

refroidissement sans PCM. Les simulations temporaires avec le logiciel de simulation TRNSYS, ont montré que la capacité de la solution de plafond de refroidissement proposée a réduit les pics de température jusqu'à 3,2 C, tandis que les économies d'énergie peuvent atteindre 27 % tout dépendait du taux de renouvellement d'air. Ces résultats peuvent aussi aider à déterminer de façon significative la faisabilité économique d'une solution PCM pour les systèmes de refroidissement au plafond.

Dans cet article DU KE et al [35] en 2022, ont vu que le système de plafond rafraichissant en métal n'était pas suffisant pour créer le confort thermique et améliorer sa capacité qui est très limitée en raison de sa surface à faible émissivité. Donc, ils ont proposé un refroidissement radiant sans condensation en couvrant la source de refroidissement avec un infrarouge à double peaux adaptatives membranes (a-DIM) constituées d'une membrane à émissivité élevée et une haute membrane transparente a été proposée (DIM). Les résultats indiquent que la capacité de refroidissement pourrait atteindre 101,9 W / en ajoutant des DIM-a composés d'une membrane à émissivité élevée de 0,96 et d'une membrane à haute transparence de 0,87, ce qui est amélioré de deux fois par rapport au plafond réfrigéré métallique classique avec une faible émissivité de 0,2. En outre, la capacité de refroidissement par l'ajout d'a-DIM est encore améliorée de 25% par rapport à celle en utilisant les deux DIM transparents.

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une recherche bibliographique des différents types de plafonds radiants rafraichissants et leur impact sur le confort thermique des occupants et surtout son rôle pour minimiser la consommation énergétique dans la construction.

Quelques travaux antérieurs sur le thème ont été présentés pour mieux comprendre le fonctionnement et les paramètres qui influencent ce système.

CHAPTER II :

Présentation Du Cas D'Etude

II.1. Introduction :

La présentation de la zone d'étude est très importante en raison de son large impact de l'aspect géographique sur les propriétés thermiques de logement.

Dans ce chapitre on va présenter la composition générale du lieu géographique de notre cas d'étude (critères géographique et climatique et ses conditions de base), pour nous permettre de comprendre les différents résultats que nous obtiendrons plus tard et pour nous donner une idée des phénomènes que nous rencontrons.

II.2. PRESENTATION DE LA WILAYA

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, située dans le sud-est de l'Algérie, elle a une distance de 650 km de la capitale, au nord-est du Sahara septentrional. Elle occupe une superficie de 44.586,80 km² [36]. Elle est comprise entre les 33° et 34° de latitude Nord, et les 6° et 8° de longitude Est, touchant les frontières tunisienne et libyenne. Elle est limitée par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa au nord, au nord-est par la wilaya de Djelfa, au sud et sud-est par la Wilaya de Ouargla, et à l'est par la frontière tunisienne [37].

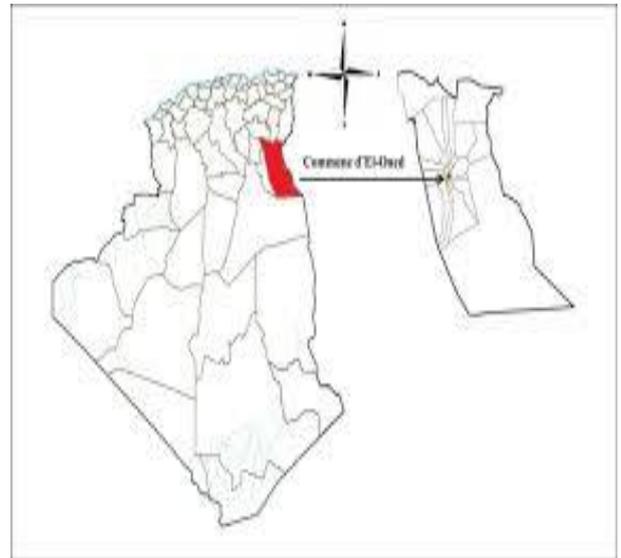


Figure II.1 : Situation de wilaya d'EL-OUED [37]

II.3. Les zones climatiques dans l'ALGERIE :

L'Algérie occupe une zone de 2.381.741 Km², compris entre 18 et 38 de latitude nord et une longitude de 9 ouest et 12 est ; avec une grande diversité géographique et climatique. On peut classer en trois catégories [39] :

- **Le Tell** : climat tempéré humide du type méditerranéen.
- **Les Hautes plaines** : climat du type continental.
- **Le Sahara** : climat aride et sec.

Selon le DTR les zones climatiques considérées comme suivantes [40] :

- **ZONE A** : elle est de climat particulièrement tiède avec d'hiver doux, pluvieux, et d'été chaud et humide. Dans les zones suivantes : le rivage, la mer et parfois le versant Nord des chaînes côtières.
- **ZONE B** : la région côtière montagneuse connaît des hivers froids et des étés relativement chauds et moins humides.

- **ZONE C** : les hauts plateaux se distinguent par des hivers froids et longs avec la même altitude que les zones A et B, et des étés chauds et secs.
- **ZONE D** : la région connaît un climat saharien, connu pour son vaste potentiel solaire et ses faibles taux d'humidité. Les hivers sont relativement brefs, accompagnés de températures diurnes modérées et nocturnes glaciales. À l'inverse, les étés sont chauds, avec des températures atteignant jusqu'à 45 °C à l'ombre

II.4. Les caractéristiques météorologiques de la wilaya :

La ville appartient à la zone D selon la classification du DTR, Oued Souf se caractérise par un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud et sec.

II.4.1. Température :

Les mois d'été sont très chauds, avec des températures atteignant 49° à l'ombre et plus de 50° les jours de sirocco (Chihili). Les variations diurnes sont considérables à court terme, la température baisse la nuit d'environ 20°. Par contre, l'hiver est relativement froid alors que le gel n'est pas rare et parfois la température peut descendre sous 0° surtout la nuit [38].

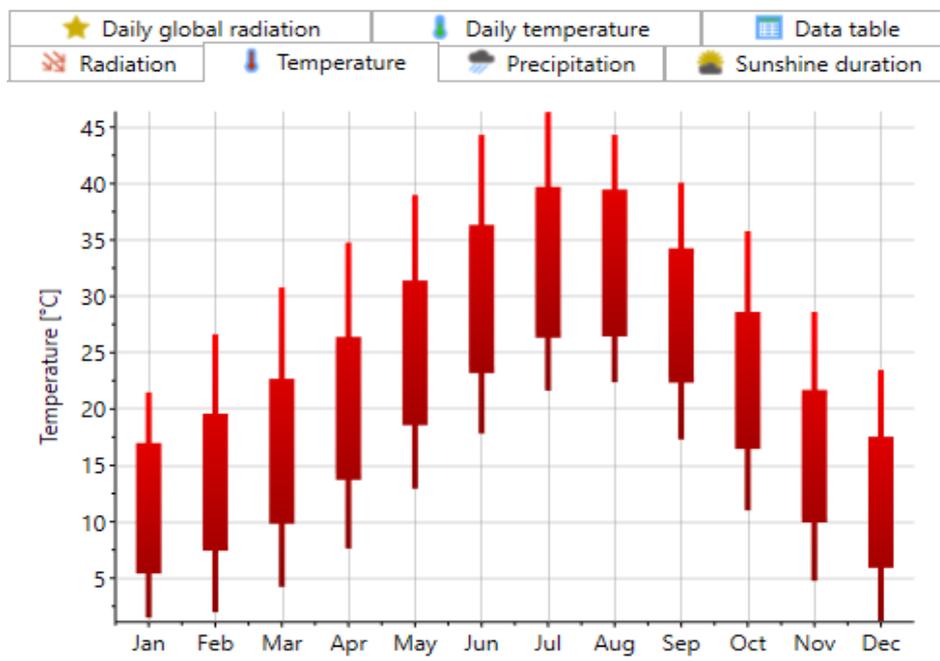


Figure II.2 : Température en °C à el oued d'après le Métenorme [42]

- **Températures journalières maximales et minimales à el oued :**
D'après la courbe de la température, on observe que le mois de juillet est le plus chaud de l'année 46°C et que Janvier et décembre sont le moi le plus froid de l'année. La température moyenne est de 1 ou 0°C à cette période.

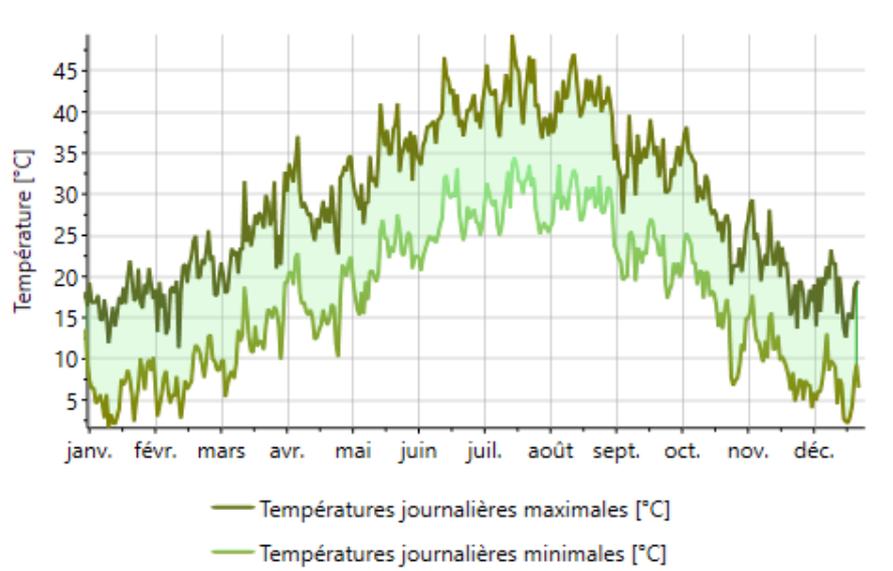


Figure II.3: Températures journalières maximales et minimales à el oued d’après le Métenorme [42]

II.4.2. Le vent :

Les vents les plus violents soufflent jusqu’à 80 km/h et sont fréquents surtout durant la période de mars à juin. Quand le vent de sable (simoun) se déchaîne, en quelques minutes le paysage devient méconnaissable [38]

II.4.3. Humidité :

On remarque d’après le tableau que L’humidité relative la plus élevée est en Décembre (63 %). Le plus bas en Juillet (23.01 %).

Tableau II.1 : Représenté l’humidité d’el oued dans l’année [43]

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	9.9	11.8	16.4	21	25.7	30.2	33.3	32.7	28.6	23.1	15.5	10.8
Température minimale moyenne (°C)	4.9	6.2	10	14.2	18.6	22.7	25.8	25.6	22.4	17.3	10.4	6.2
Température maximale (°C)	15.5	17.6	22.6	27.4	32.2	36.9	40.1	39.1	34.5	28.8	21	16.1
Précipitations (mm)	13	4	8	8	3	1	0	1	6	5	8	8
Humidité(%)	61%	47%	39%	32%	28%	25%	23%	26%	36%	43%	53%	63%

II.4.4. L’ensoleillement :

La région d'el oued est caractérisée par environ 3934.65 heures d'ensoleillement tout au long de l'année. Il y a en moyenne 129.3 heures d'ensoleillement par mois [44].

On remarque d'après les histogrammes qu'en Juillet, le plus grand nombre d'heures d'ensoleillement 12 h et en Janvier et décembre le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien le plus bas 7 h.

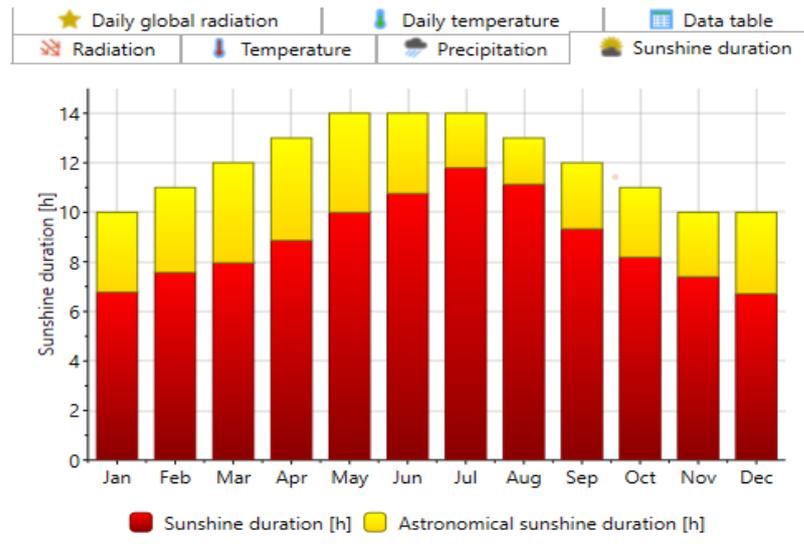


Figure II.4 : Durée d'ensoleillement à el oued d'après le Métenorme [42]

- **Rayonnement global journalier et diffus :**

On remarque d'après les histogrammes que la valeur du rayonnement global atteint en été 210 kWh/ m² comme valeur maximale et environ 80 kWh/ m² la plus petite valeur au mois de Janvier.

On remarque aussi que la valeur du rayonnement diffuse en été 100 kWh/ m² comme valeur maximale et en hiver 35 kWh/ m² la plus petite valeur.

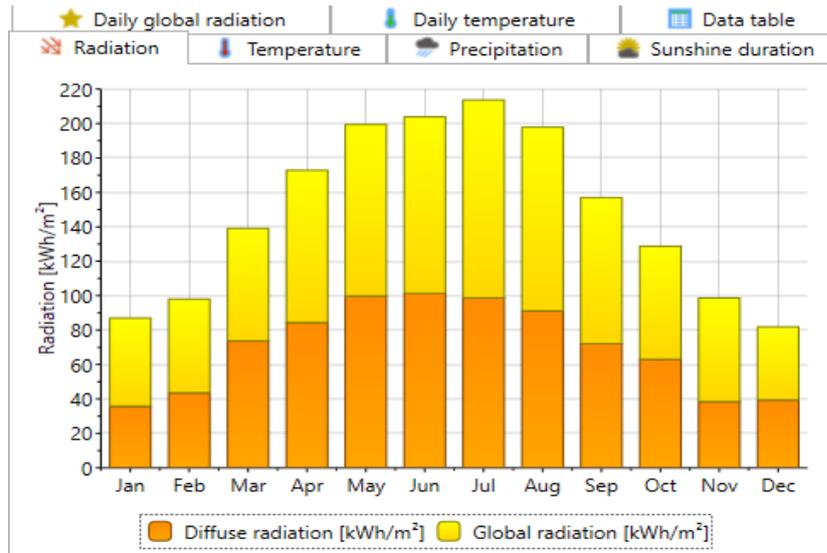


Figure II.5 : Rayonnement global journalier et diffuse à el oued d’après le Métenorme [42]

II.4.5. Précipitations :

Les précipitations annuelles moyennes de la wilaya sont de 65 mm. On remarque que, le mois de Juin est le plus sec avec 0 mm. Et dans le mois de Novembre, les précipitations sont les plus importantes de l’année avec une moyenne de 11 mm.

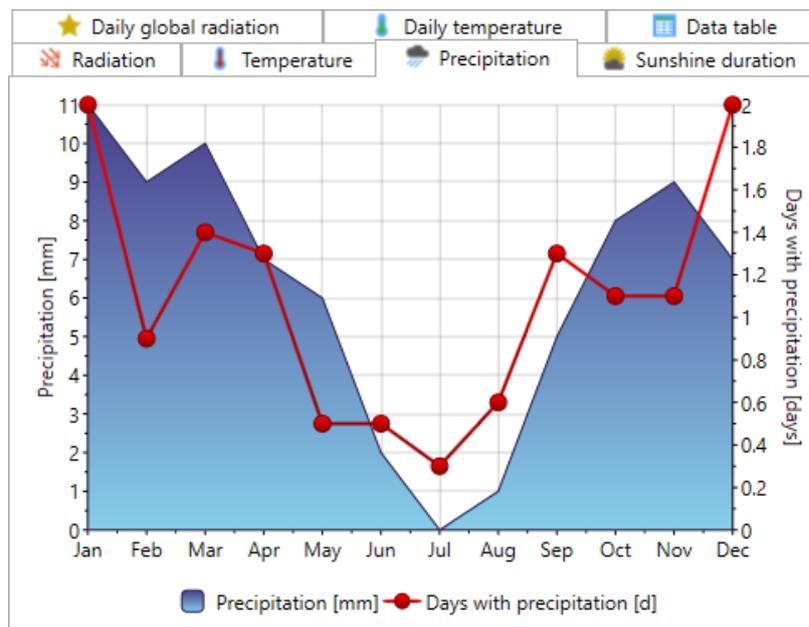


Figure II .6: Le taux de précipitation [42]

II.5. Présentation de l’habitation :



Figure II .7 : Situation géographique de cas d'étude Google earth [45]

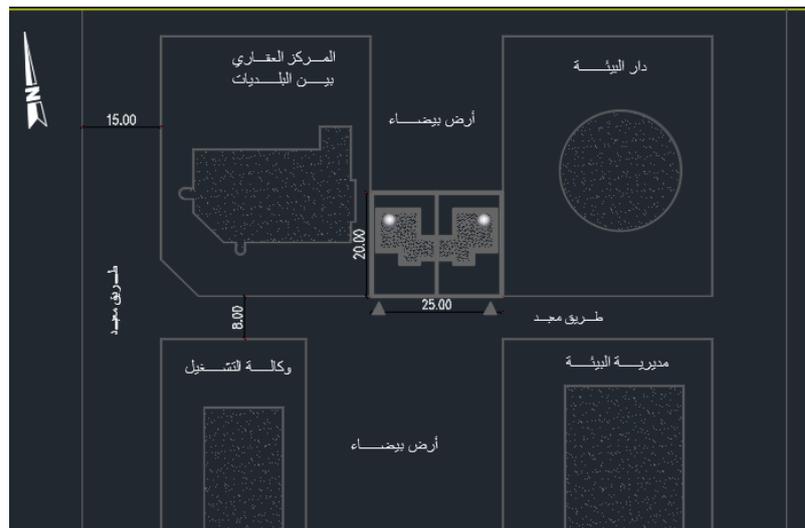


Figure II.8: Plan de mass

II.5.1. Description du logement d'étude :

Noter choix d'étude est un logement F3 qui a situé dans le centre d'el oued, et dont la superficie est de 252.6 m². Il possède une forme rectangulaire.

Ce logement est composé d'une cuisine, un séjour, deux chambres un hall, SDB, WC, une grande cour et un jardin.

II.5.2. Plan architectural :

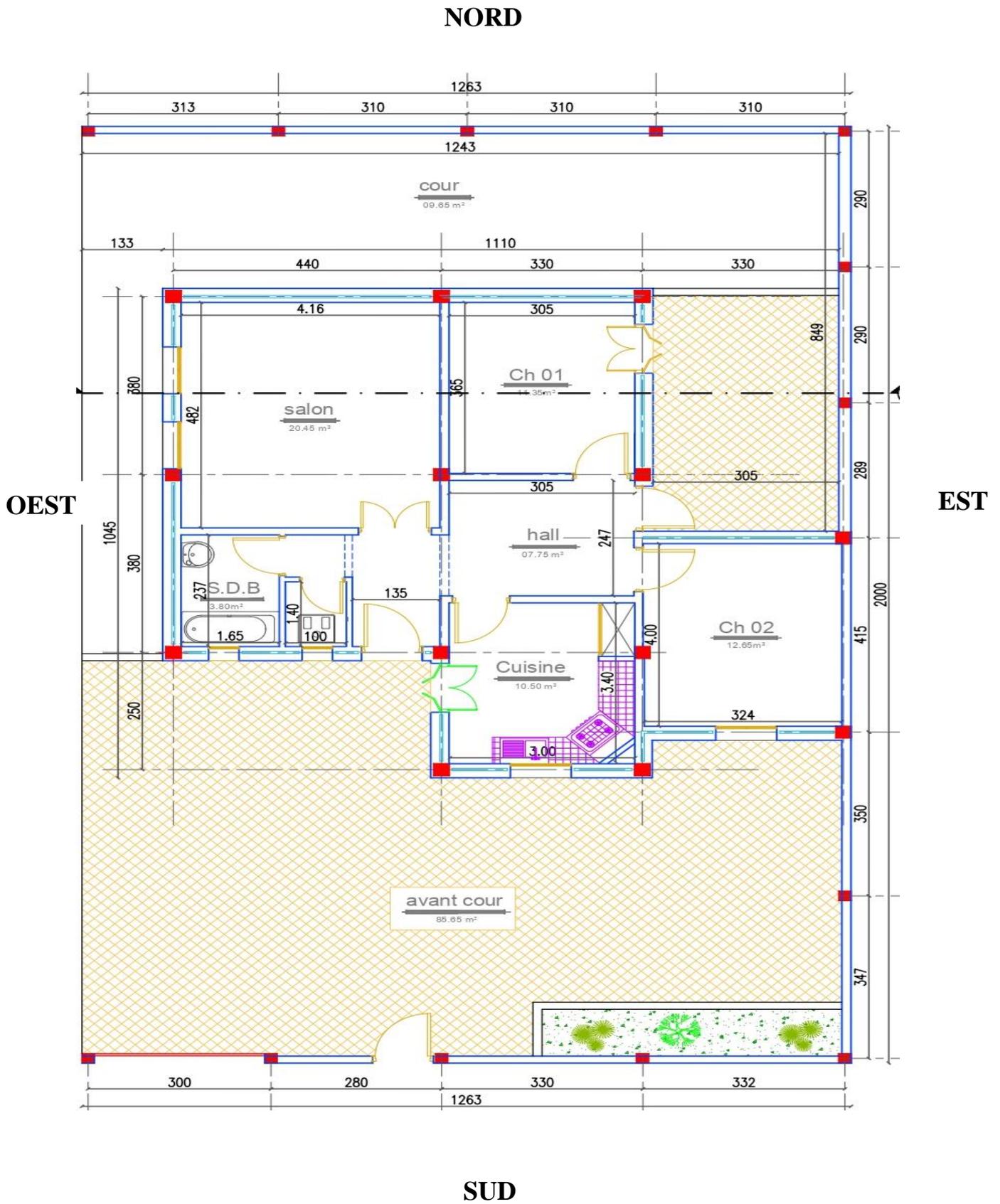


Figure II.9 : Plan d'architectural

- **Remarque :**

On a fait une petite modification dans TRANSYS par rapport à ce plan concernant les surfaces des pièces et les dimensions des murs, car le logiciel marche par des cassies spécifiques.

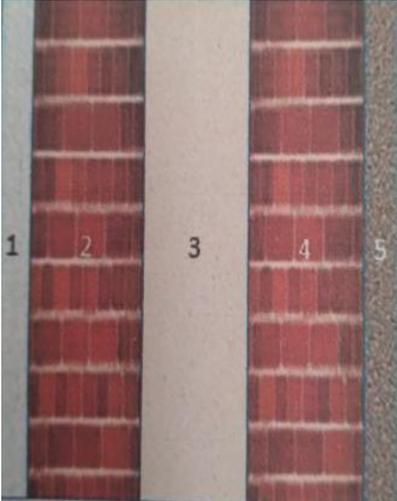
II.5.3. Données architecturales de l'habitat :

- Hauteur de la maison : 3m
- Surface de la maison : 252.6 m²
- Volume de la maison : 757.8m³

II.5.4. Matériaux de construction utilisée :

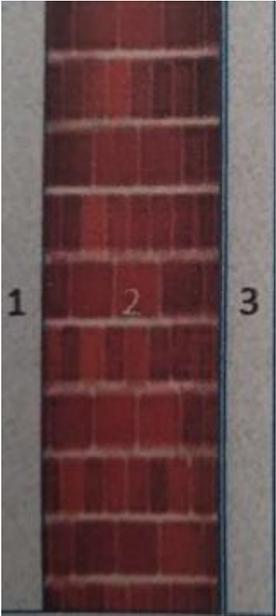
- **Composition de mur extérieur :**

Tableau II.2 : composition de mur extérieur

	COMPOSANTS	E (m)	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Capacité thermique (J /kg.°C)
	Mortier en ciment	0.02	2000	1.8	1000
	Brique creuse	0.10	690	0.48	900
	Lame d'air	0.05	1	0.09	1224
	Brique creuse de 15 cm	0.15	1250	0.48	1000
	Enduit de plâtre	0.02	1500	0.35	1000

- **Composition de mur intérieur :**

Tableau II.3: composition de mur intérieur

	COMPOSANTS	E (m)	ρ (Kg/m³)	λ (W/m.°C)	Capacité thermique (J /kg.°C)
	Enduit de plâtre	0.02	1500	0.35	1500
	Brique creuse	0.1	1000	0.48	1250
	Enduit plater	0.02	1500	0.35	1500

- **Composition de plancher bas :**

Tableau II.4 : composition de plancher bas

COMPOSANTS	E (m)	ρ (Kg/m³)	λ (W/m.°C)	Capacité thermique (J /kg.°C)
Carrelage	0.02	2300	1.7	700
Mortier en ciment	0.05	2000	1.4	1000

Bache polyuréthane	0.05	40	0.034	1404
Sable et gravier	0.20	1950	0.6	910

- **Composition de toiture :**

Tableau II.5: Composition de toiture

	COMPOSANTS	E (m)	ρ (Kg/m³)	λ (W/m.°C)	Capacité thermique (J /kg.°C)
	Lain de roche	0.020	25	0.041	920
	Béton lourd	0.04	2300	1.75	920
	Hourdi 16	0.16	1300	1.23	648
	Enduit de plâtre	0.02	1000	0.35	1500

- **Les compositions des ouvertures**

Tableau II.6 : Composition des ouvertures

Miniseries	Dimension	Type de vitrage	Nature de menuiserie	U(W /m²°C)

<p>Port</p> 	<p>Longueur=2.2m Largeur=0.9m Surface =1.98 m²</p>	<p>Opaque</p>	<p>Bois Bois Bois</p>	<p>2 2 2</p>
<p>Fenêtre</p> 	<p>Longueur=1.30m Largeur=1.20m Surface =1.56 m</p>	<p>Un seul vitrage</p>	<p>Bois</p>	<p>2</p>
<p>Porte fenêtre</p> 	<p>Longueur=2.2m Largeur=0.9m Surface =1.98 m</p>	<p>Un seul vitrage</p>	<p>Bois</p>	<p>2</p>

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la région d'El OUED et l'identification de cette caractéristique géographique et climatique à l'aide de logiciels « METEONORM ».

Ainsi que nous avons fait une description du logement étudié et des caractéristiques des matériaux qui composent les panneaux bas, des murs extérieurs et intérieurs, du toit et de la menuiserie utilisée dans ce logement.

CHAPTER III :

Modélisation Thermique et Dynamique

III.1. Introduction :

Les simulateurs énergétiques permettent d'analyser le comportement thermique d'un immeuble et de déterminer les besoins énergétiques nécessaires pour maintenir un niveau de confort thermique durant toute l'année.

Dans ce chapitre, la simulation thermique dynamique (STD) à l'aide du logiciel TRNSYS, nous allons étudier l'impact thermique d'un plafond rafraichissant d'un bâtiment durant la période estivale.

On va présenter modèle de logement, les paramètres et les compositions des parois ; et aussi les scénarios des activités des occupants ainsi que les équipements qu'ils utilisent.

III.2. Simulation thermique et dynamique :

La simulation thermique dynamique est une méthode de simulation qui permet de modéliser le comportement thermique d'un bâtiment dans le temps ; en prenant en compte l'influence des :

- Enveloppe thermique du bâtiment (parois, toiture, vitrages...) ;
- Les données météorologiques du local ;
- Les équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation ;
- Les apports internes (occupants, appareils électriques, éclairage, etc.) ;

Elle est utilisée par les professionnels du bâtiment pour concevoir des bâtiments économes en énergie et confortables pour les occupants.

III.2.1. Présentation du logiciel :

III.2.1.1 TRNSYS : (version 16)

Pour nos simulations, nous avons utilisé TRNSYS (Transient programme Simulation Systems) [46] qui est un outil modulaire, conçu pour simuler les performances énergétiques des systèmes dynamiques complexes décrits par des sous-programmes en Fortran (appelées TYPE) [8].



TRNSYS est un environnement de simulation complète et extensible pour la simulation transitoire de systèmes, y compris de bâtiments multizones. Il est utilisé par des ingénieurs et des chercheurs du monde entier pour valider de nouveaux concepts énergétiques, des simples systèmes d'eau chaude sanitaire à la conception et à la simulation des bâtiments et de leurs

équipements, en passant par les stratégies de contrôle, le comportement des occupants, les systèmes énergétiques alternatifs (éolien, solaire, photovoltaïque, systèmes à hydrogène), etc. [47].

III.2.1.2. Simulation Studio:

Simulation Studio est un package de simulation complète contenant plusieurs outils, des programmes de moteur de simulation et des programmes de connexion graphique aux logiciels de traçage et de tableur. C'est un outil intégré qui peut être utilisé de la conception d'un projet à simulation [47].



III.2.1.3. TRNBuild:

Le programme TRNBUILD lit et traite un fichier contenant la description du bâtiment et génère deux fichiers qui seront utilisés par le composant de TYPE 56 lors d'une simulation TRNSYS. Le fichier contenant la description du bâtiment traité par TRNBUILD peut être généré par



L'utilisateur avec n'importe quel éditeur de texte ou avec le programme interactif TRNBUILD. La notation requise est décrite en détail dans la documentation TRNBUILD dans la section suivante [47].

III.2.1.4. METEONORM : (version 8.0.3)

Cette version comprend principalement des périodes climatiques nouvelles et plus actuelles, un meilleur accès aux séries chronologiques en cours et des mises à jour du logiciel. L'interface utilisateur du logiciel de bureau n'a pas beaucoup changé [48].



III.3. Hypothèse pour la simulation :

- Nous avons simulé une habitation du type F3(20 m×12.63 m) qu'on a munis d'un plafond rayonnant (nattes capillaires) avec le logiciel TRNSYS.
- La maison est divisée en 10 zones thermiques (salon, suit salon, Hall, suit Hall, SDB, cuisine, suit cuisine, CH01, CH02, suit CH02). Nous avons considéré comme charges : deux personnes, une télévision, deux ordinateurs, l'éclairage. La simulation a été effectuée dans la ville d'EL-OUED. Durant la simulation on va fermer les ports, les fenêtres. Pour le scénario on va utiliser DAYNIGHT : le système marche départ de 10 :00 h jusqu'à 18 :00h

- Dans notre simulation on a essayé avec 4 défèrent degrés pour la température de l'eau entrée (20°C/18°C/16°C/15°C) ; et aussi des défèrent débit d'eau (0.12m3/h jusqu'à 0.2m3/h) ; pour savoir le débit et la degré d'eau d'entrée du système pour apporter une confort pour les occupants.

III.4. Application du logiciel :

III.4.1. Identification de la station météorologique :

Sous logiciel méteonorm 8 :

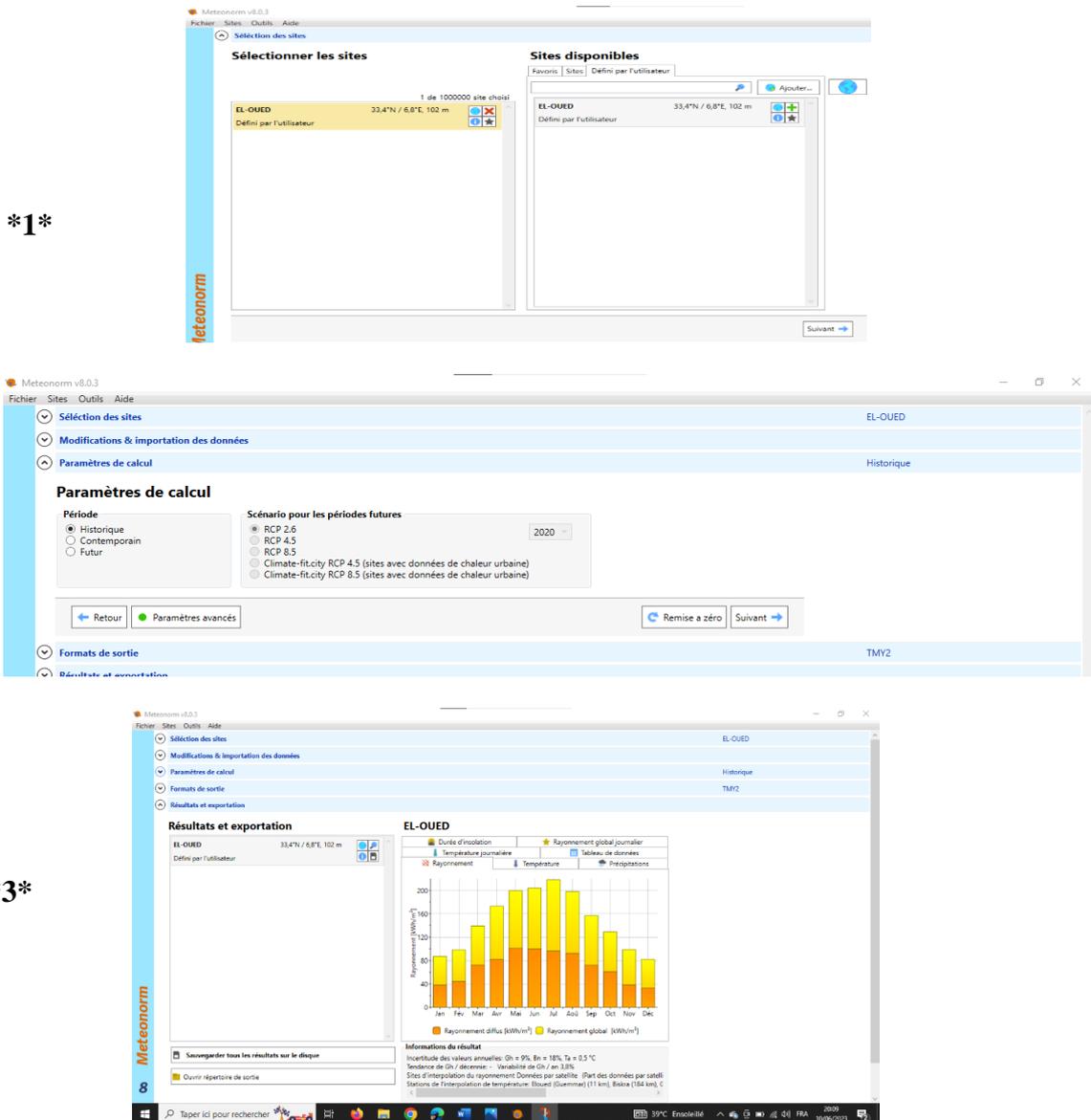


Figure III.1 : Création d'un fichier météo sous Météonorme [42]

III.4.2. Création d'un fichier météorologique :

III.4.2.1. Sous simulation studio :

Étape01 : On choisit multizone

Étape02 : définir les dimensionnements des zones.

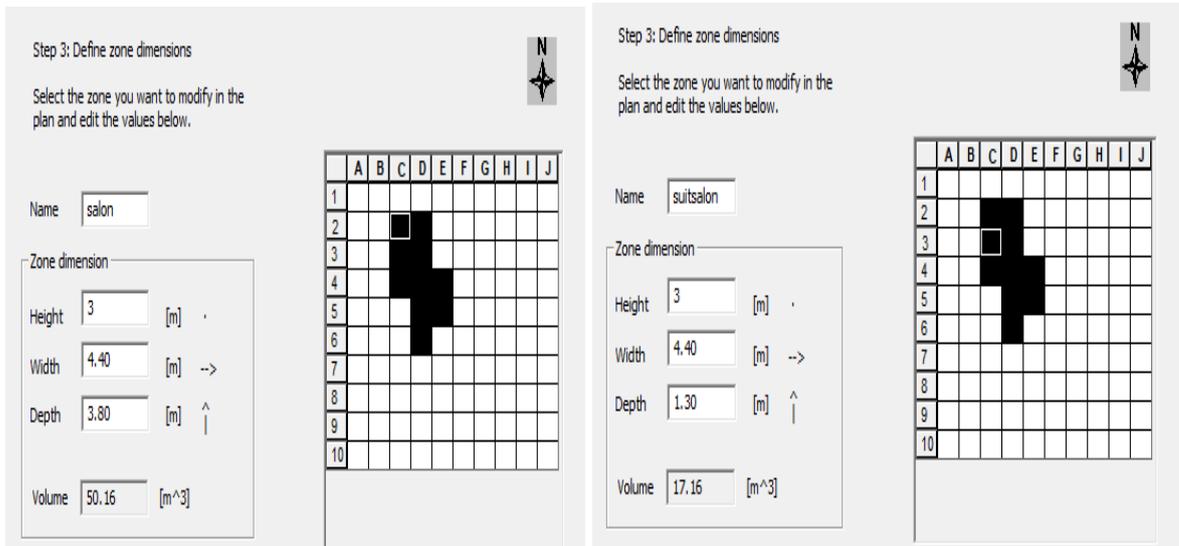


Figure III.2 : SALON

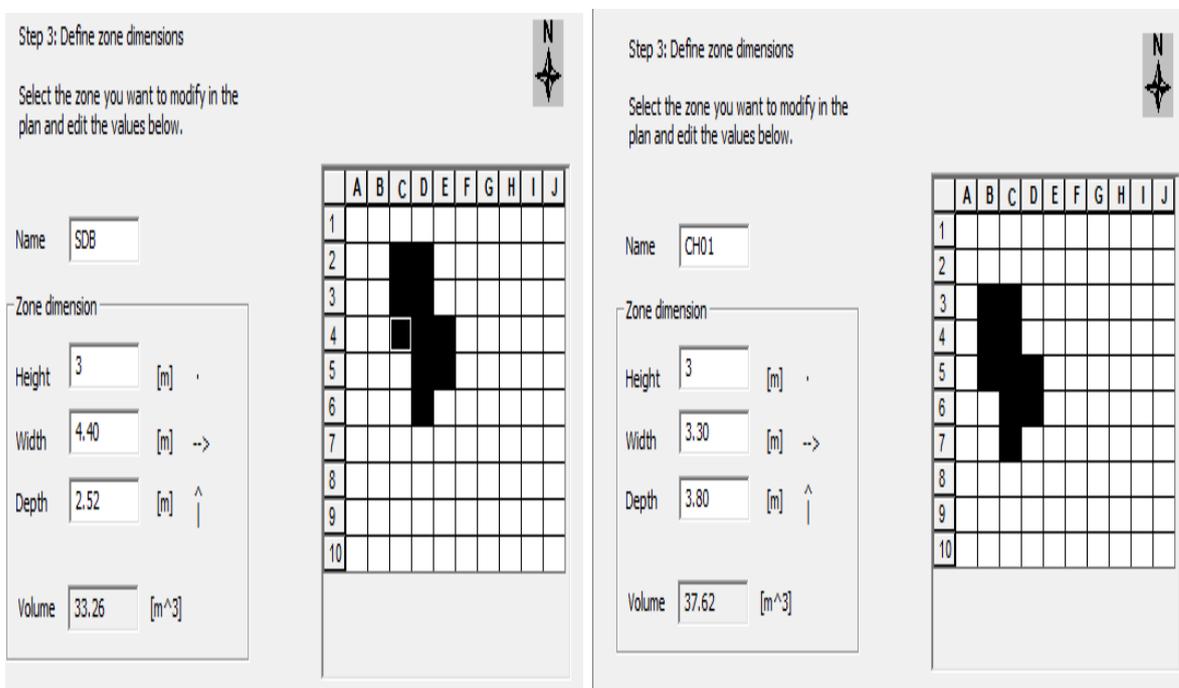


Figure III.3 : SDB & Chambre 01

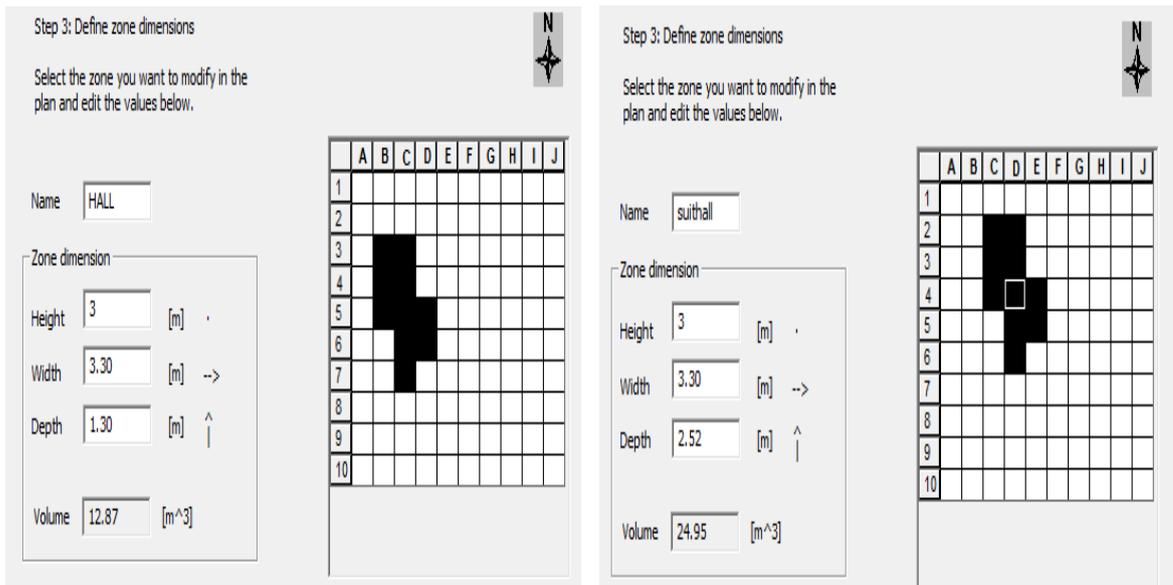


Figure III.4 : HALL

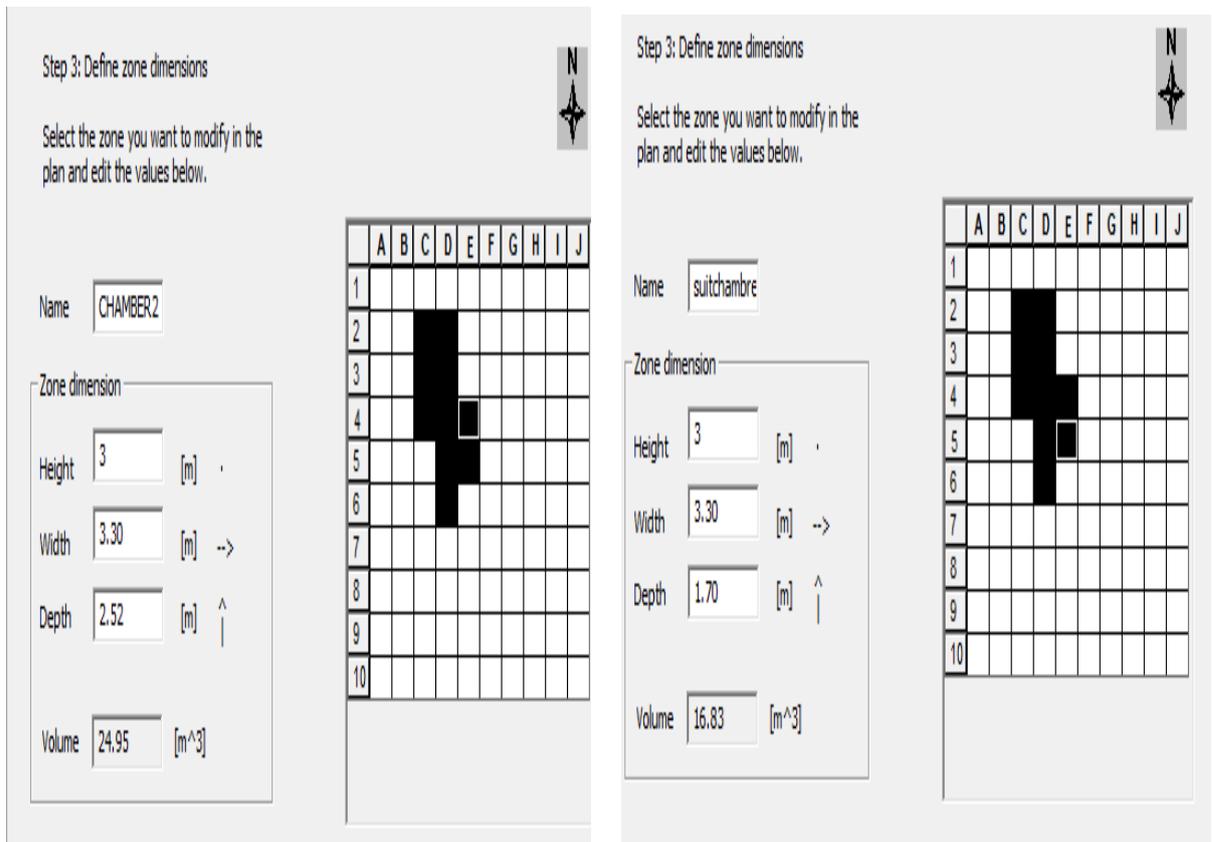


Figure III.5 : La chambre 02

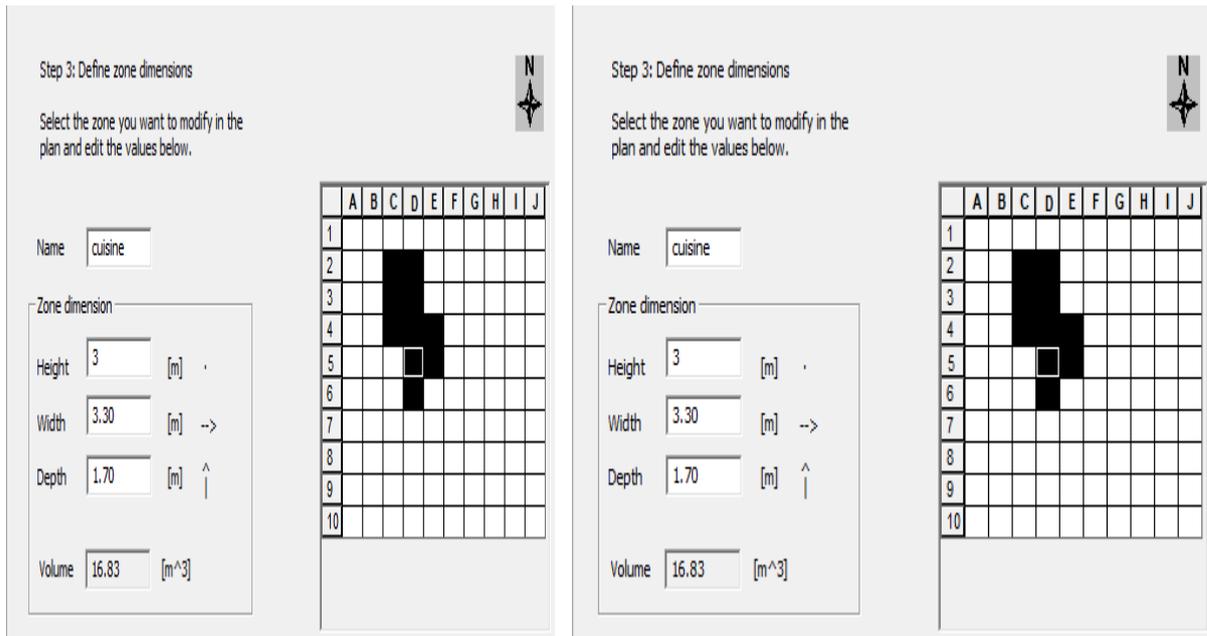


Figure III.6 : La cuisine

III.4.2.2. Sous TRNBuild :

- **Composition des éléments constructifs :**

Description les parois et les portes sous Wall Type Manger

- **Composition des murs :**

Wall Type Manager

wall type: MUREX

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_PLÂ	0.020	massive
2	BRICK	0.150	massive
3	LAME_AIR15	0.050	massive
4	BRICK	0.100	massive
5	ENDUIT_EXT	0.020	massive

back

Wall Type Manager

wall type: MURINTE

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_EXT	0.020	massive
2	BRICK	0.100	massive
3	ENDUIT_EXT	0.020	massive

back

Figure III.7 : Mur extérieur

Figure III.8 : Mur intérieur

- **Composition de Plancher haut et bas :**

Wall Type Manager

front / inside

wall type: PLAFOND

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_PLÂ	0.030	massive
2	HOURD16_BÉ	0.160	massive
3	BÉTON_LOUR	0.040	massive
4	LAINE_DE_R	0.020	massive

back

Figure III.9 : Plancher haut

Wall Type Manager

front / inside

wall type: PLANCHER.B

No.	Layer	Thickness	Type
1	SABLEETGRV	0.200	massive
2	POLYRÉTHAN	0.050	massive
3	MORTIER	0.020	massive
4	CARRELAGE	0.025	massive

back

Figure III.10 : Plancher bas

- **Composition de le tapis nattes capillaires et panneaux nattes capillaires :**

Wall Type Manager

front / inside

wall type: PLAFOND.F

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_PLÂ	0.030	massive
2	LAYER001		active layer
3	ENDUIT_PLÂ	0.030	massive
4	LAINE_DE_R	0.020	massive
5	HOURD16_BÉ	0.160	massive
6	BÉTON_LOUR	0.040	massive

Figure III.11: Tapis nattes capillaires

Wall Type Manager

front / inside

wall type: PLAFOND.F

No.	Layer	Thickness	Type
1	LAYER002		chilled ceiling
2	LAINE_DE_R	0.020	massive
3	HOURD16_BÉ	0.160	massive
4	BÉTON_LOUR	0.040	massive

back

Figure III.12: Panneaux nattes capillaires

- **Caractéristiques des portes et Fenêtres :**

Wall Type Manager



Figure III.13 : Porte

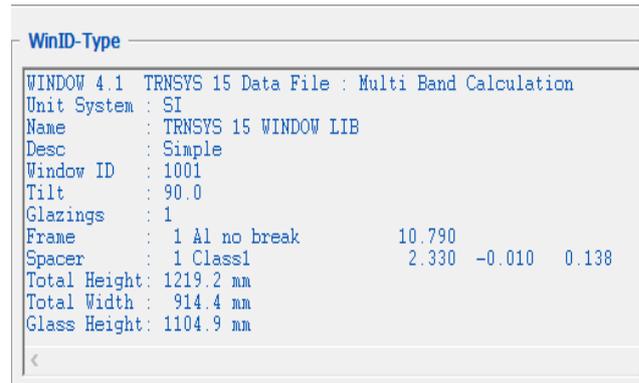


Figure III.14 : Fenêtre simple

Description les zones climatiques :

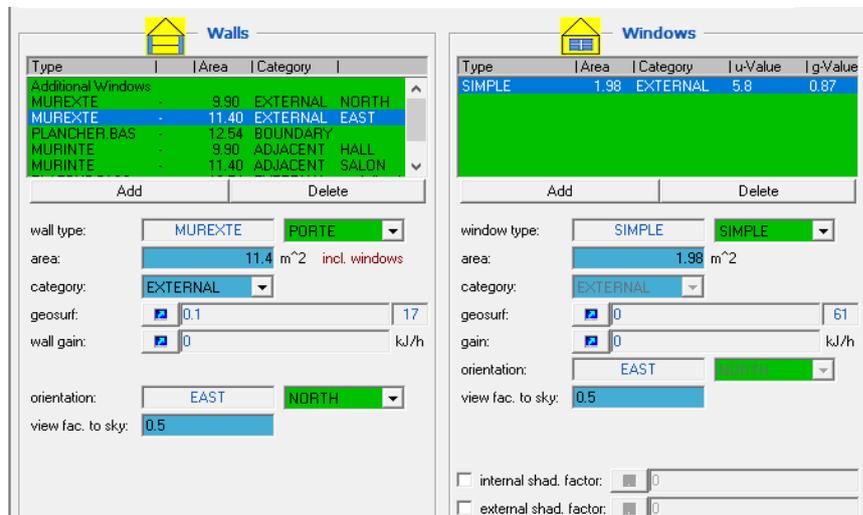


Figure III.15 : La simulation de la chambre 01

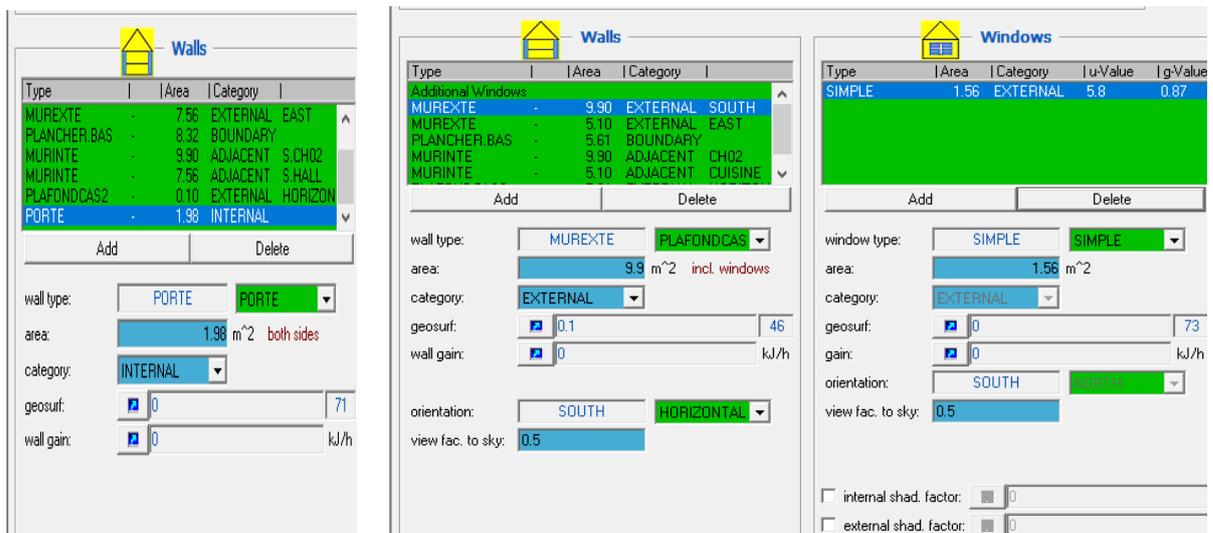


Figure III.16 : La simulation de la chambre 02



Figure III.17: la simulation de Salon

- **Spécification de système :**

Étape 01 : déterminer le débit d'eau

Pour calculer le débit d'eau :

$$\text{Débit (m}^3/\text{h)} = \text{Vitesse (m/s)} * \text{Section transversale (m}^2) \quad [Q = v \times s]$$

Étape 02 : déterminer le nombre de tuyaux

Chambre 01 :

$$S_{F1} = \frac{S \times 2}{3} = \frac{10.07 \times 2}{3} = 6.71 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{6.71}{0.1} = 67 \text{ tubes}$$

Chambre 02 :

$$S_{F2} = \frac{S \times 2}{3} = \frac{8.17 \times 2}{3} = 5.44 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{5.44}{0.1} = 55 \text{ tubes}$$

Suite chambre 02 :

$$S_{F3} = \frac{S \times 2}{3} = \frac{5.51 \times 2}{3} = 3.67 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{3.67}{0.1} = 37 \text{ tubes}$$

Salon :

$$S_{F4} = \frac{S \times 2}{3} = \frac{15.80 \times 2}{3} = 10.54 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{10.54}{0.1} = 105 \text{ tubes}$$

Suite salon :

$$S_{F5} = \frac{S \times 2}{3} = \frac{5.41 \times 2}{3} = 3.60 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{3.60}{0.1} = 36 \text{ tubes}$$

Étape 03 : déterminer la température d'entrée d'eau

Dans les travaux de T. Catalina et al [8] à une température de 25°C et une humidité relative de 50%, la température de rosée de l'air intérieur est de 13,9 °C, ce qui permet au panneau rafraichissant de fonctionner avec une température d'eau froide inférieure à 15 °C.

Dans notre cas on la température est supérieur à 35°C et une humidité relative de 23 %, ce qui nous permet de travailler avec des températures d'eau froide inférieure à 15 °C.

III.4.2.3. Sous Simulation studio :

Sous Weather Data on va insérer le fichier Météonorm de notre site

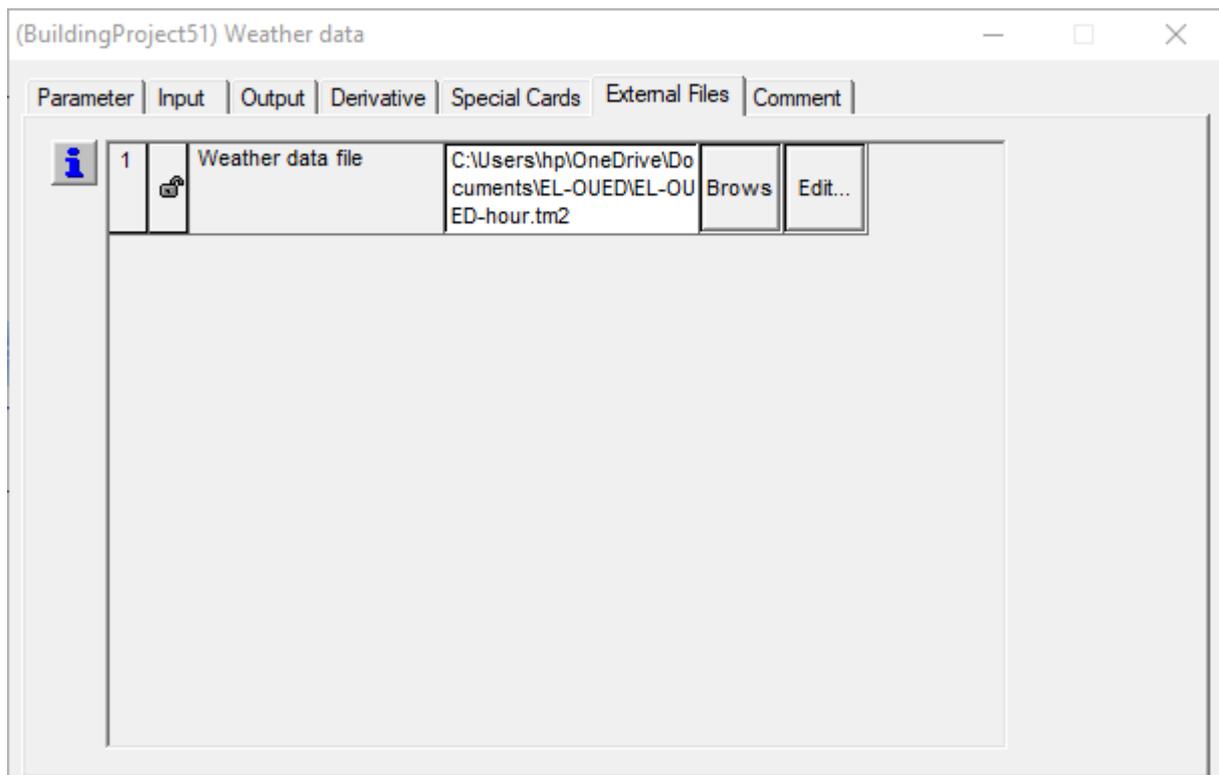


Figure III.18 : Insérer le fichier Météonorme dans Weather Data

Ensuite on va lancer la simulation après en « update building variable list ».

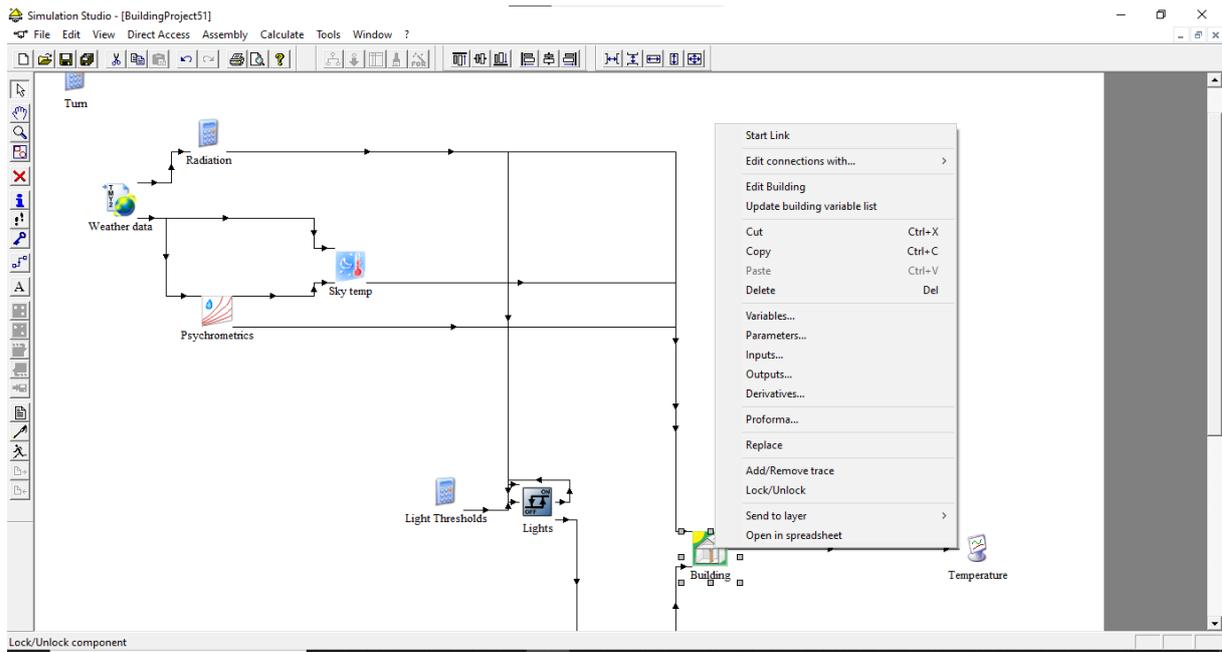


Figure III.19 : Lancer la simulation

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé la procédure de la mise en œuvre des divers logiciels, de même que les simulations réalisées. Les résultats obtenus seront exposés dans le chapitre suivant.

CHAPTER IV :

Résultats Et Discussion

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats obtenus après la simulation thermique dynamique ainsi que les discussions.

Notre travail consiste à faire la simulation de deux variantes d'un panneau : nattes capillaires (chilled ceiling) et un tapis de nattes capillaires (dalle active), nos résultats seront comparés à ceux de Tiberiu Catalina [8].

*IV.2. Validation de nos résultats avec les travaux de Tiberiu Catalina :

IV.2.1. Hypothèses pour la simulation :

Dans la simulation de Tiberiu .C [8], il a travaillé avec

- Les dimensions du bureau sont 3 m x3 m x3 m, avec des fenêtres de 2m² sur les murs sud, nord et ouest.
- Un débit de ventilation de 5 vol/h amenant l'air hygiénique dans le bureau, sachant qu'il y a 65g/h d'humidité produite par l'occupant et 0,5 kg/h par une machine à café.
- Des simulations ont été effectuées pour différentes villes à travers la France, les villes choisies sont les suivantes : Paris, Lyon, Marseille, Nantes, Strasbourg et Bordeaux
- La température de l'eau entrant dans le plafond (17.5oC pour Lyon, Paris et Marseille, 18.5oC pour Bordeaux et Strasbourg et 19.5oC pour Nantes)
- La simulation a été faite au cours de la semaine comportant la journée la plus chaude,
- La différence entre les températures d'entrée et de sortie d'eau est influencée par le débit d'eau fixé à 160 kg/h.
- Diamètre (d intérieur =2 mm, d extérieur = 3 mm) et d'un espacement faible entre les tubes, de l'ordre de 2 centimètres.
- 1 personne
- Les Matériaux de construction utilisée dans les tests est cell Minibate :

Wall	Material	λ [W/m°C]	ρ [kg/m³]	Thickness [mm]
Floor	concrete	0.16	400	200
Wall	plaster plate	0.35	817	10
	insulated material	0.06	200	50
	plaster plate	0.35	817	10
	wood plate	0.136	544	50
	plaster plate	0.35	817	10
Ceiling	wood plate	0.136	544	8
	insulated material	0.06	200	55
	wood	0.136	544	25

Figure IV.1 : Les Matériaux de construction cell Minibate [24]

IV.2.2. Simulations :

➤ Les résultats de simulation :

Les résultats de cette simulation sont récapitulés dans les courbes et les tableaux suivants :

Tableau IV.1 : Les résultats des températures de Catalina et notre étude théorique dans la ville de Lyon

	La température ambiant (°C)	La température intérieur (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire(°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	33 °C	31 °C	25°C	/	17.5°C
Théorique	34°C	31.52°C	25.56°C	23.57°C	17.5°C
ΔT	1°C	0.52°C	0.56°C	/	/

La différence de température intérieure entrée minibat avec et sans nattes capillaires dans l'article de Catalina ΔT_1 et dans notre étude et ΔT_2 :

$$\Delta T_1 = 6^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 5.96^\circ\text{C}$$

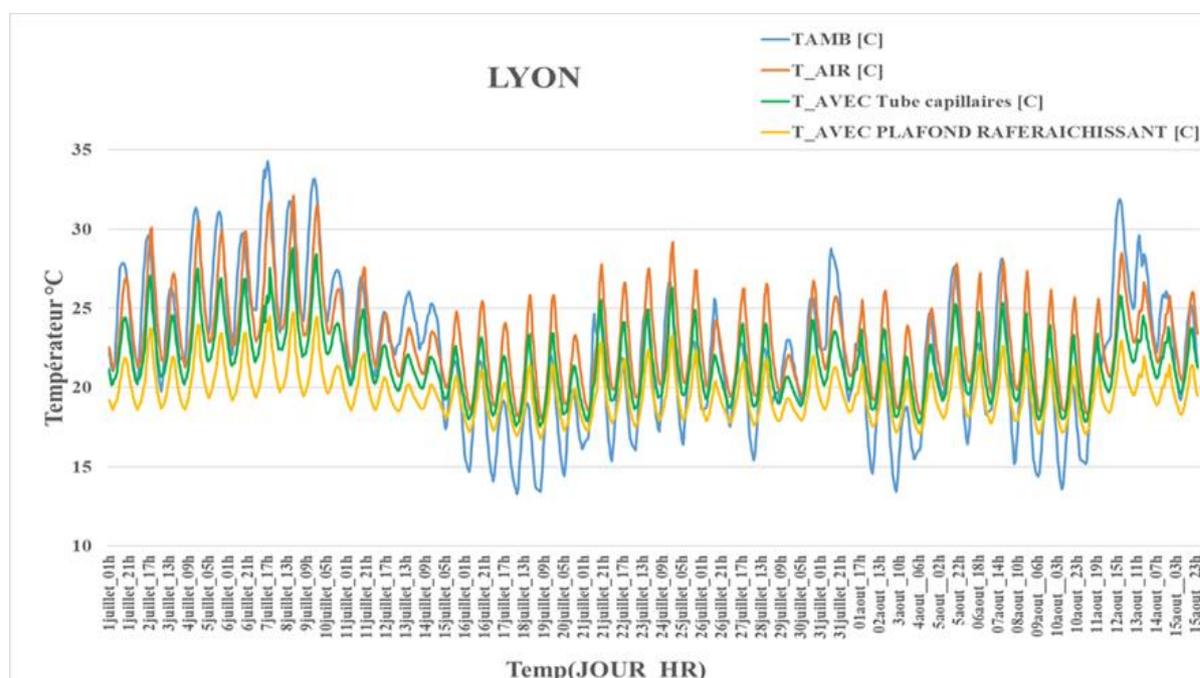


Figure IV.2: Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville LYON

Tableau IV.2 : Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de MARSEILLE

	La température ambiante (°C)	La température intérieur (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire(°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	33 °C	31.5°C	24.5°C	/	17.5°C
Théorique	34.73° C	31.87°C	24.75°C	23.17°C	17.5°C
ΔT	1.73°C	0.37°C	0.24°C	/	/

La différence de températures intérieures entées avec et sans plafond rafraichissant dans l'article da Catalina ΔT_1 et dans notre étude et ΔT_2 :

$$\Delta T_1 = 7 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = 7.12^\circ$$

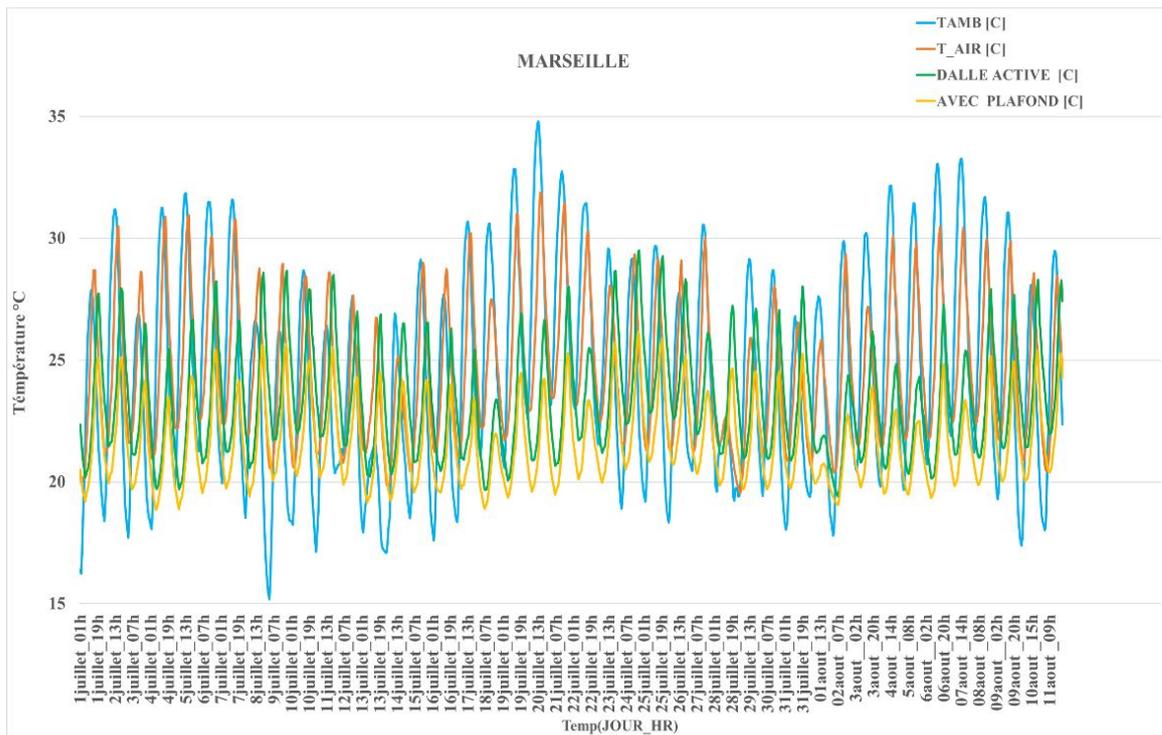


Figure IV.3 : Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville MARSEILLE

Tableau IV.3: Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de Paris

	La température ambiante (°C)	La température intérieure (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire (°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	30°C	28°C	24°C	/	17.5 °C
Théorique	31.11°C	28.95°C	25.04°C	24.47°C	17.5°C
ΔT	1.11°C	0.95°C	1.02 °C	/	/

La différence de température intérieure entrée avec et sans nattes capillaires dans l'article da Catalina. $\Delta T1$ et dans notre étude et $\Delta T2$: $\Delta T1=4^{\circ}\text{C}$ $\Delta T2 = 3.91^{\circ}\text{c}$

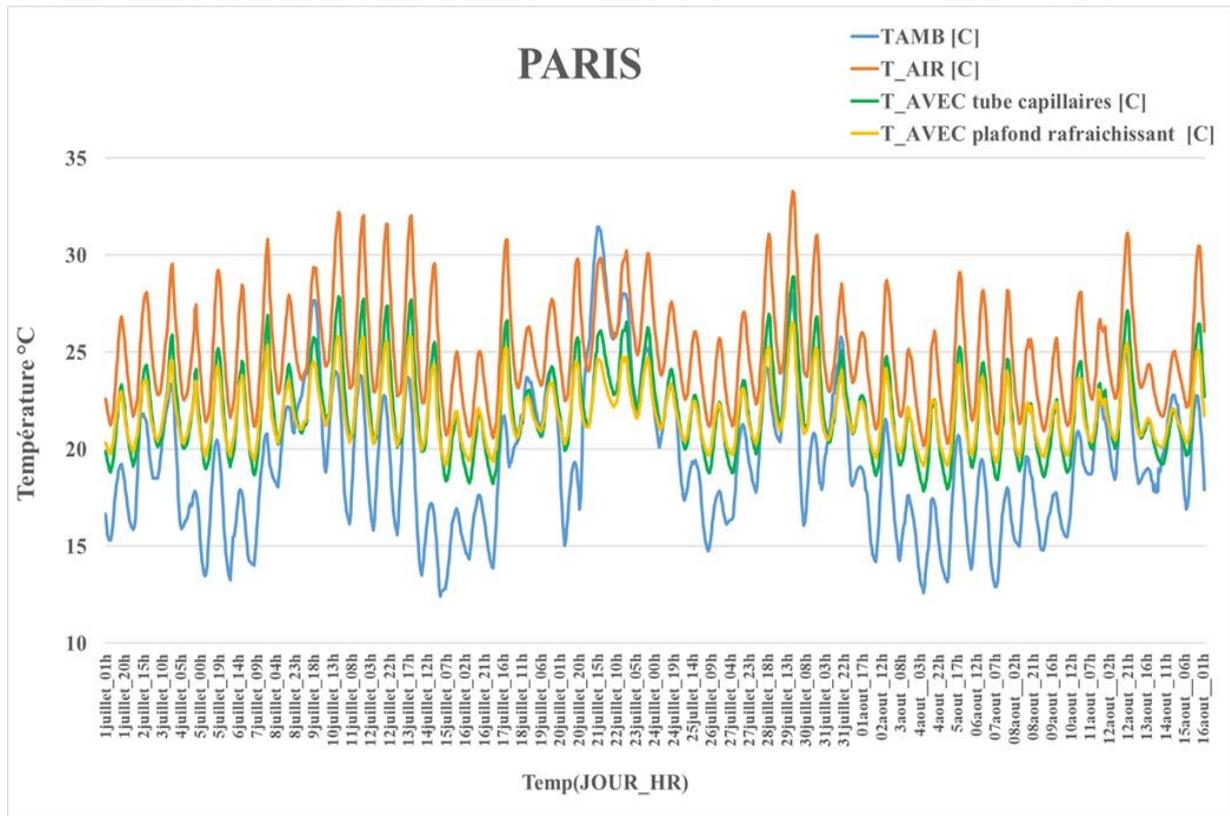


Figure IV.4 : Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville PARIS

Tableau IV.4 : Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de BOURDEAUX

	La température ambiante (°C)	La température intérieure (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire(°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	34 °C	29°C	24°C	/	18.5°C
Théorique	35.08°C	29.05°C	24.10°C	21.63°C	18.5°C
ΔT	1.08°C	0.05°C	0.10°C	/	

La différence de température intérieure entrée avec et sans nattes capillaires dans l'article de Catalina ΔT_1 et dans notre étude et ΔT_2 :

$$\Delta T_1 = 5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 4.95^\circ\text{C}$$

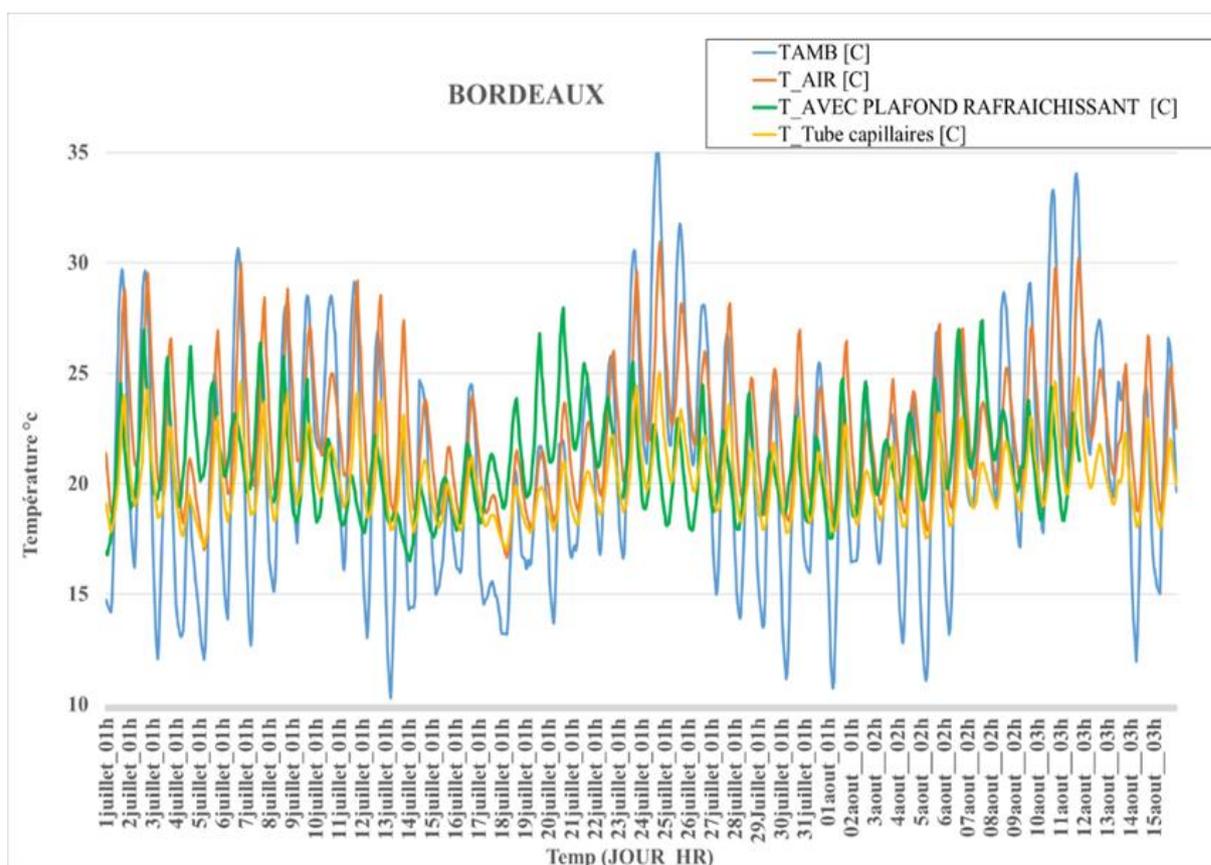


Figure IV.5 : Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville BORDEAUX

Tableau IV.5: Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de NANTES

	La température ambiante (°C)	La température intérieure (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire(°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	32 °C	27.5°C	24°C	/	19.5°C
Théorique	32.88°C	28.27°C	25.06°C	24.63°C	19.5°C
ΔT	0.88 °C	0.74 °C	1.06 °C	/	/

La différence de température intérieure entrée avec et sans nattes capillaires dans l'article de Catalina ΔT_1 et dans notre étude et ΔT_2 : $\Delta T_1=3.5^\circ\text{C}$ $\Delta T_2 =3.21^\circ\text{C}$

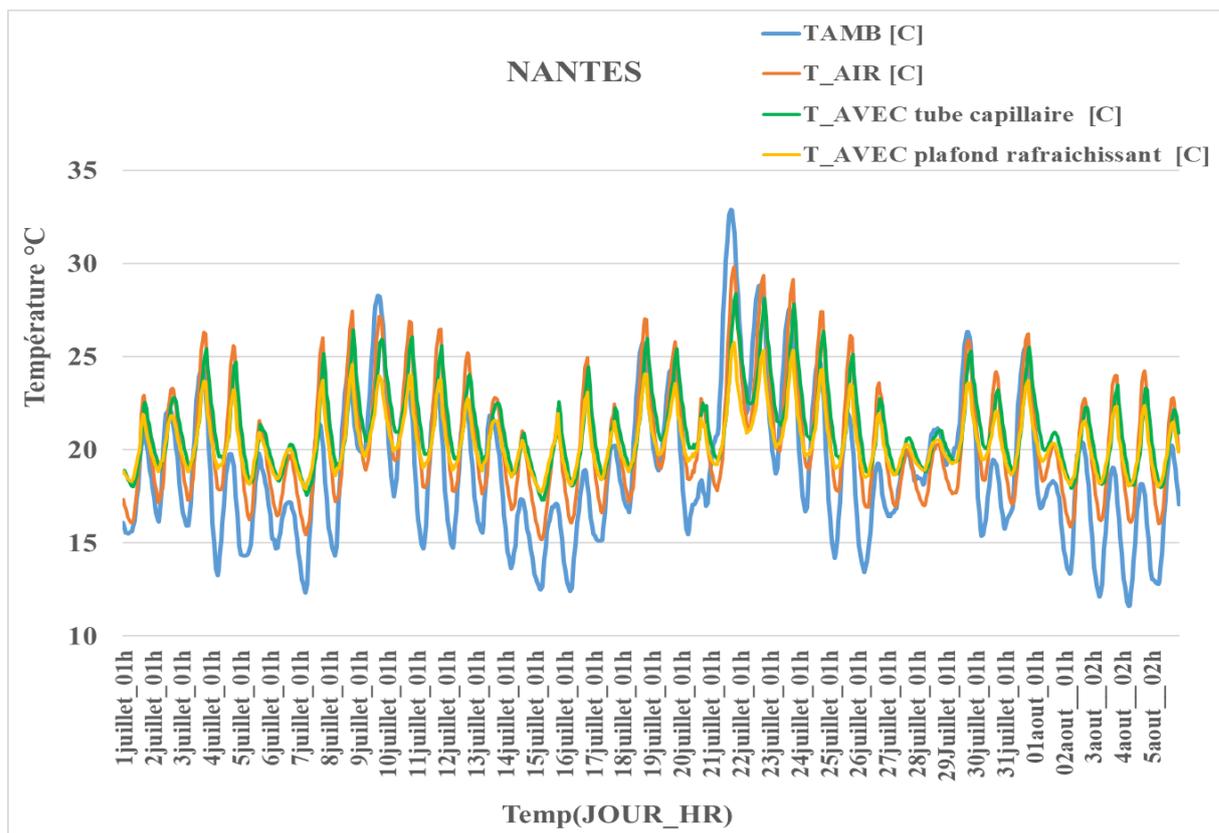


Figure IV.6: Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville NANTES

Tableau IV.6 : Les résultats des températures de Catalina et noter étude théorique dans la ville de STARSBOURG

	La température ambiante (°C)	La température intérieure (°C)	La température Avec panneaux nattes capillaire(°C)	La température avec tapis nattes capillaire (°C)	La température de l'eau (°C)
Catalina	31°C	28°C	24°C	/	19.5°C
Théorique	33.09°C	28.86°C	24.9°C	24.06°C	19.5°C
ΔT	2.09°C	0.86°C	0.9°C	/	/

La différence de température intérieure entrée avec et sans nattes capillaires dans l'article da Catalina ΔT_1 et dans notre étude et ΔT_2 : $\Delta T_1=3.5^\circ\text{C}$ $\Delta T_2 =3.96^\circ\text{C}$

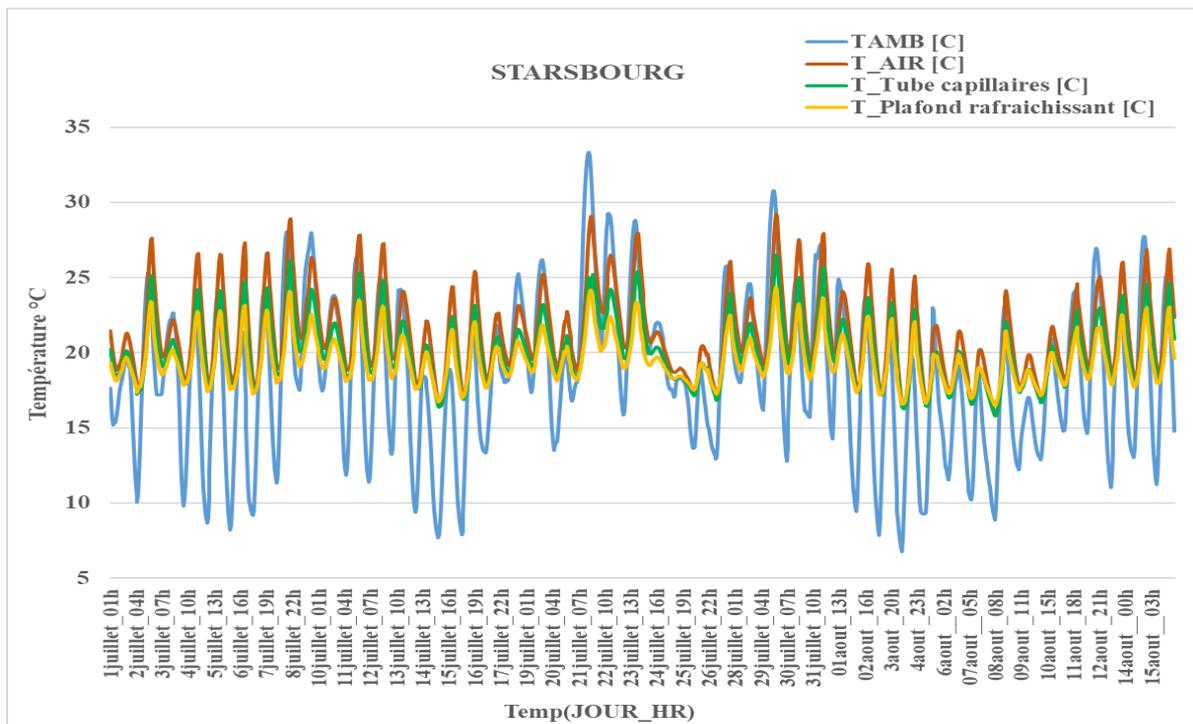


Figure IV.7 : Les températures maximales et minimales observées en fonction du mois le plus chaud dans la ville STARSBOURG

➤ Résultats et discussions :

Les résultats obtenus à partir de l'étude de Tiberiu. C pour les différents sites français (Nattes, Paris, Bordeaux, Lyon, Strasbourg, Marseille) révèlent des variations de température significatives à la fois à l'extérieur (température ambiante) et à l'intérieur de la zone étudiée, lors de la journée la plus chaude.

Effectivement, l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, variant de 1°C à 5°C, indique que la température intérieure est influencée par les conditions extérieures chaudes. Dans

ce contexte, l'isolation de la zone et l'utilisation de matériaux appropriés jouent un rôle essentiel pour minimiser cet écart et maintenir une température confortable à l'intérieur.

De plus, l'écart de température intérieur sans le tapis de nattes capillaires et avec le tapis varie de 3,5°C à 7°C. Cela indique que l'utilisation de ces tubes de nattes capillaires permet de réduire l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, ce qui contribue à maintenir une température plus stable.

Alors que, l'écart de température entre l'intérieur et la température pour le panneau de nattes Capillaires varie de 4°C à 8°C.

IV.2. 3. Etude comparative :

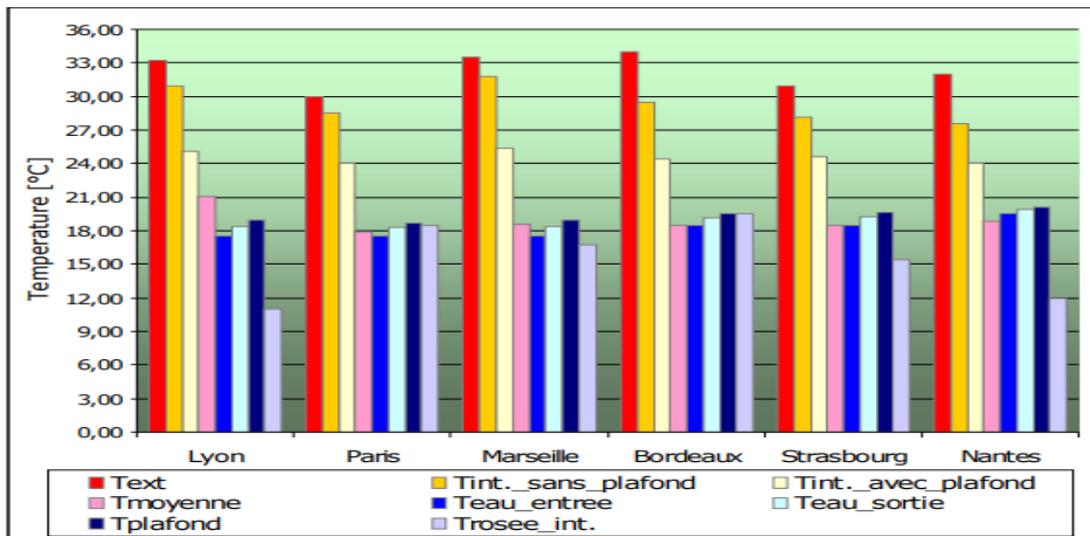


Figure IV.8 : Les températures maximales observées des différents éléments en fonction de la ville (jour le plus chaud sauf la température moyenne calculée au cours de la semaine correspondante)

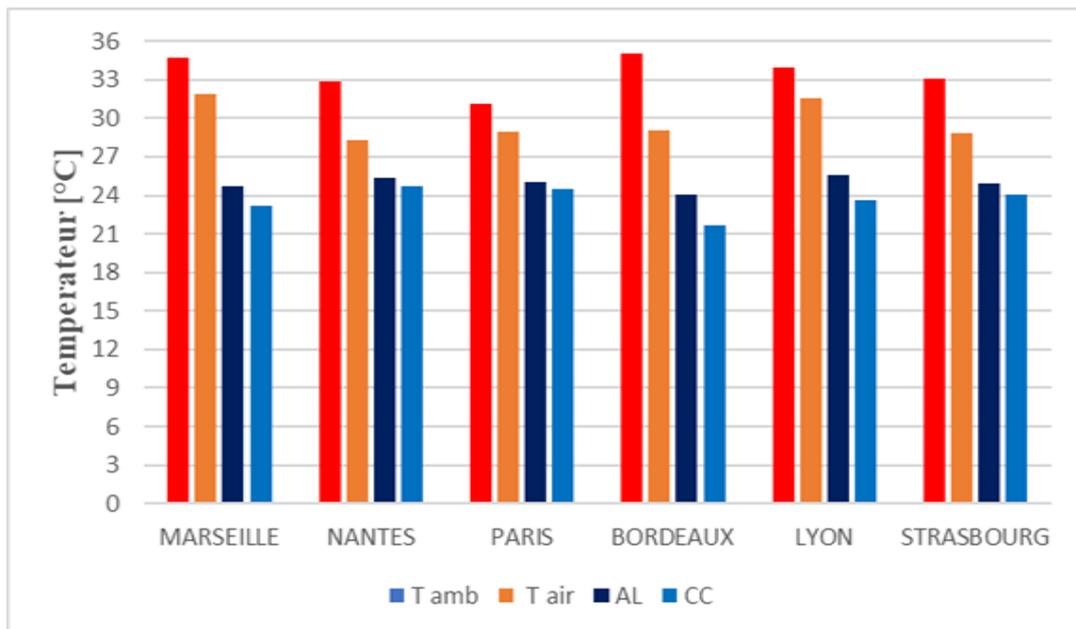


Figure IV.9 : Les températures maximales observées des différents éléments en fonction de la ville (jour le plus chaude) dans notre étude théorique

D'après les tableaux (1 à 6) et les figures (2 à 7) on peut lire que l'écart de température entre l'extérieur de Tiberiu.C et notre étude variante de 1°C à 2°C, cette augmentation permet à la température intérieure de nous augmenter par rapport de Catalina.

En comparant nos résultats avec ceux de Tiberiu.C à partir des températures maximales des six sites français étudiés (Nattes, Paris, Bordeaux, Lyon, Strasbourg, Marseille) présentés dans les figures 8 et 9, nous constatons une bonne concordance avec un écart de température de 3,5°C à 7°C. Ainsi, nous avons obtenu des résultats similaires.

IV.2.4 Choix de type de système :

Sur la base des travaux de Tiberiu .C, il semble que l'influence du tapis nattes capillaire (°C) soit plus significative que celle des panneaux nattes capillaires en termes de différence de température (ΔT). Selon les résultats, la valeur maximale de ΔT pour les nattes capillaires était de 7°C, tandis que celle du panneau était de 9°C.

Cela suggère le panneau peut être plus efficace pour rafraîchir l'environnement intérieur en dissipant la chaleur, ce qui entraîne une plus grande différence de température par rapport à l'extérieur.

Nos choix sont portés sur le tapis nattes capillaire

IV.3. Etude paramétriques

IV.3.1. Simulation sans plafond radiant :

Cette simulation nous permet de voir clairement les extrêmes de température à l'intérieur de notre cas d'étude, et voir la température maximale de chaque zone dans notre cas d'étude.

➤ Résultat de simulation :

Les résultats de cette simulation qui montrent la température maximale dans chaque zone dans la journée la plus chaude 21 juillet sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.7 : Résultat de simulation sans plafond radiant

HR \ T. ZONE	4836	4837	4838	4839	4840	4841
T° amb °C	41.17	43.12	44.66	45.71	46.33	46.33
T intérieur	37.17	37.31	37.51	37.78	38.05	38.26
T. Salon °C	37.44	37.66	38.02	38.58	39.17	39.6

T. S.Salon °C	36.47	36.5	36.55	36.63	36.73	36.58
T. SDB °C	36.4	36.58	36.71	36.82	36.9	36.96
T. CH 01°C	38.02	37.99	38.04	38.17	38.29	38.42
T. Hall°C	36.88	36.92	36.98	37.07	37.16	37.25
T. S. Hall °C	36.41	36.45	36.5	36.58	36.67	36.78
T. Cuisine °C	38.49	38.75	39.19	39.89	40.61	41.15
T. S.cuisine °C	40.43	41.07	41.48	42.8	43.66	44.22
T. CH02 °C	35.37	35.78	35.85	35.95	36.06	36.17
T.S. CH 02° C	37.52	37.88	38.13	38.3	39.38	39.43

IV.3.1.2. Visualisations graphiques :

Le graphe ci-dessous montre l'évolution de la température extérieure et celle de la zone de confort pendant l'été (le mois de juillet).

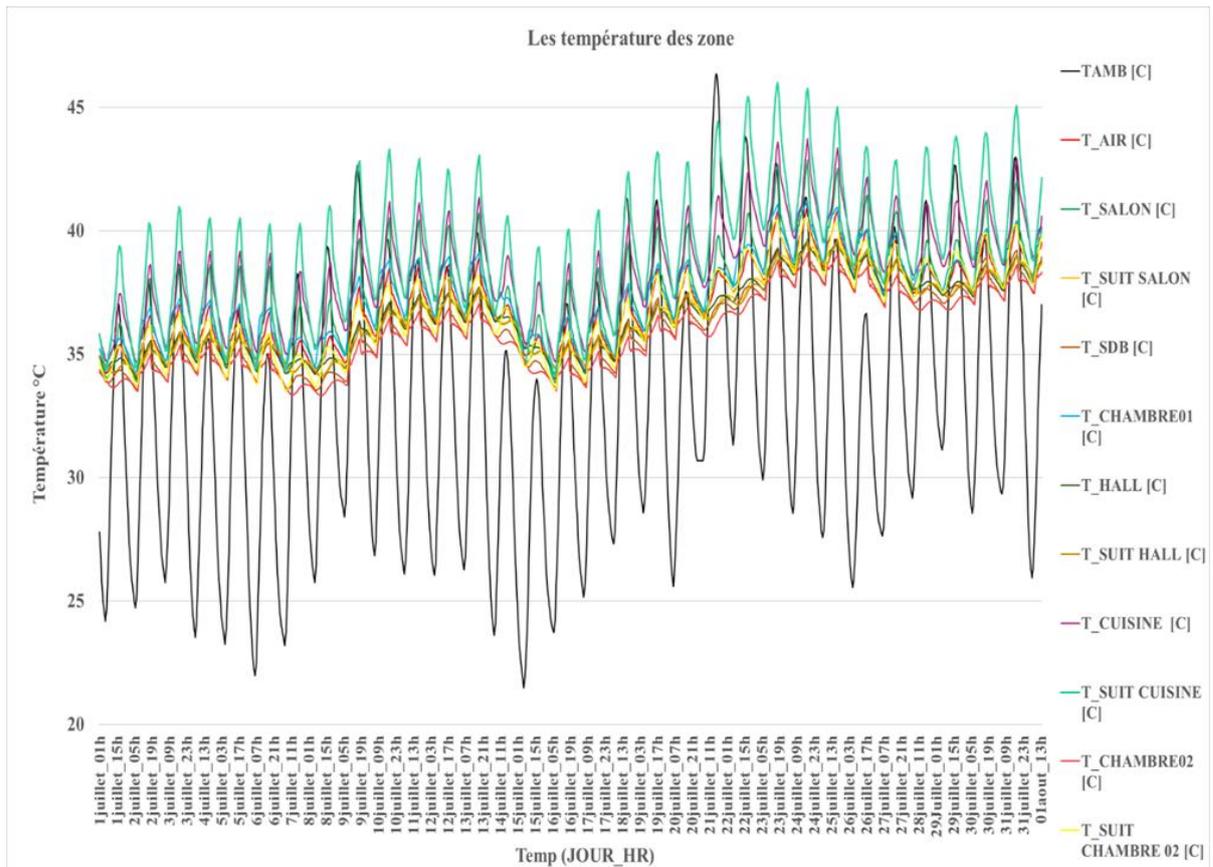


Figure IV.10 : Résultat de simulation sans plafond radiant

IV.3.1.3. Discussion des résultats :

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les températures des zones sont très élevées pour toute la période estivale. Les températures de toutes les zones ont dépassé 35°C.

Dans les zones de confort (salon et les 2 chambres) la température maximale peut atteindre 39.43°C et dans les autres zone (SDB, cuisine et hall) la température dépassé 44.22°C.

IV.3.2 Simulation avec plafond radiant rafraichissant :

Dans cette simulation on a intégré le plafond radiant rafraîchissant (panneaux nattes capillaire) à 0.12m³/h et 20°C, cela permette à nous d'évaluer l'impact de ce système sur noter cas d'étude.

IV.3.2.1. Résultat de simulation

Les résultats issus sont récapitulés dans les tableaux et le graph suivant :

Tableau IV.8 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.12 m³/h20°C pour la zone la plus chaude

La température ambient (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de suite chambre 02 avec plafond (°C)
46.33°C	30.97°C	29.97°C

○ Les autres zones :

Tableau IV.9 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.12 m³/h20°C pour les zones thermiques

Zones	T salon	T suite salon	chamber 01	chambre02
Date				
21juillet_15h	29.48°C	27.7°C	28.79°C	27.06°C
21juillet_16h	29.81	27.78°C	28.85°C	27.12°C

IV.3.2.2. Visualisations graphiques

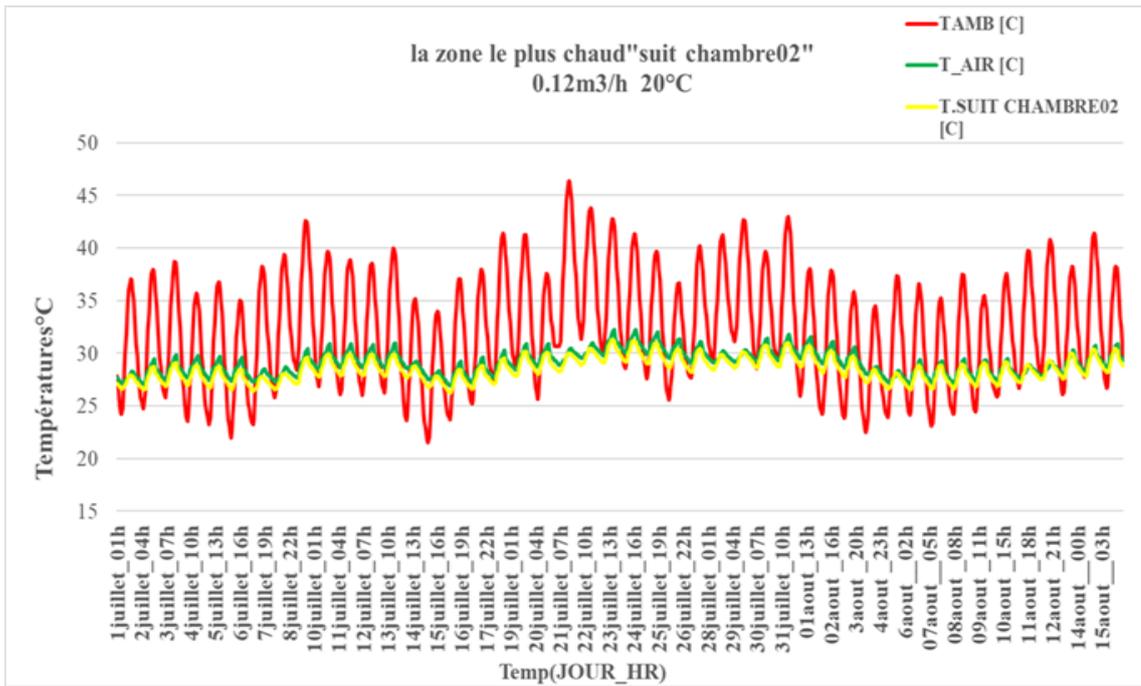


Figure IV.11 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.12 m³/h20°C C pour la zone la plus chaude

IV.3.2.2. Discussion des résultats :

D’après les résultats des figures et des tableaux On a obtenus que la température extérieure est de 46,33 °C et la température intérieure avec le tapis de nattes capillaires est de 30,97 °C, alors la différence de température est de 15,36 °C.

L'écart de température entre l'intérieur et la température extérieure a diminué de 15,36 °C à 7.29 °C grâce à l'utilisation des tapis nattes capillaires.

La température de suite chambres sans panneaux est 39.43°et la température avec panneaux est 29.97°C avec une différence de température de 9,46 °C. Cela montre que l'utilisation de plafond radiants rafraîchissants a permis d'obtenir des températures plus homogènes à travers les différentes chambres.

IV.4. L’effet des paramètres sur la performance de système :

IV.4.1. L ’effet du débit de fluide caloporteur sur T° intérieur de locale :

Dans cette partie, nous avons fait une simulation afin de voir l’effet du débit d'eau sur notre cas d’étude, pour cela on choisit la zone la plus chaude (suite chambre 02) dans la journée le plus chaude pour les tests et on a fixé la température d’eau T=20 °C, le diamètre D=0 .001 m et on varis le débit

Les résultats issus sont récapitulés dans les tableaux et le graph suivant :

• Débit d'eau 0.140 m³/h :

Tableau IV.10 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.14 m³/h20°C pour la zone la plus chaude

La température ambiante (°C)	La température de l'air (°C)	La température de suite chambre 02 avec plafond (°C)
46.33°C	30.05°C	29.93°C

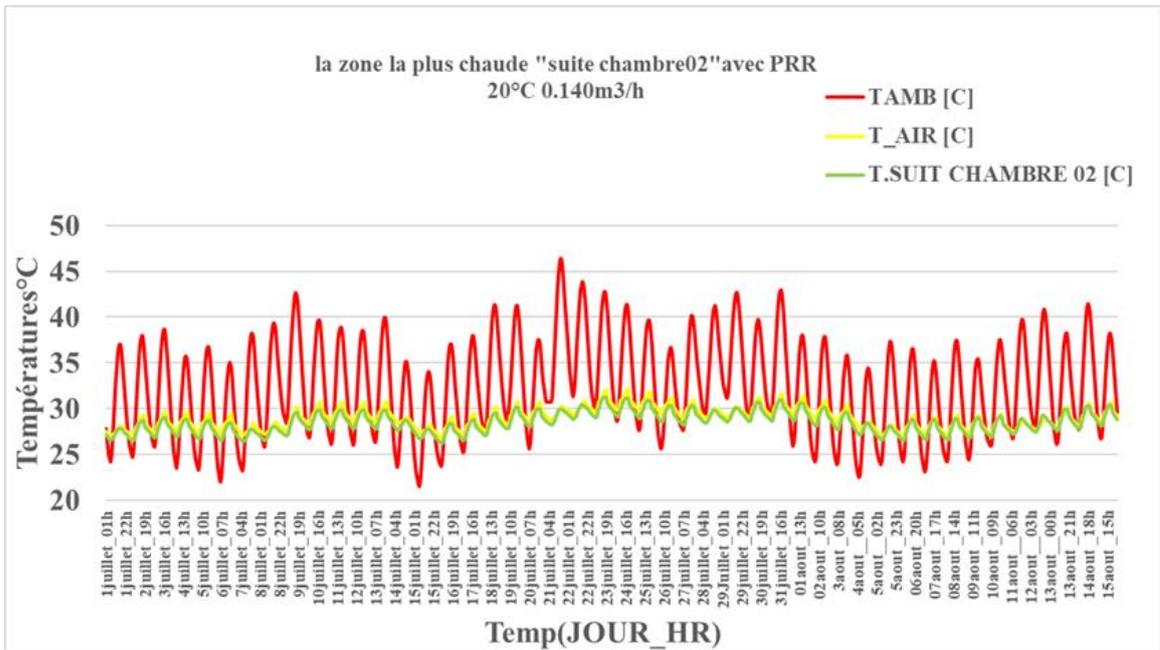


Figure IV.12 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.14 m³/h20°C C pour la zone la plus chaude

Débit d'eau 0.160 m³/h :

Tableau IV.11: Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.16 m³/h20°C pour la zone la plus chaude

La temperature ambiante (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de salon avec plafond (°C)
46.33°C	29.91	29.74°C

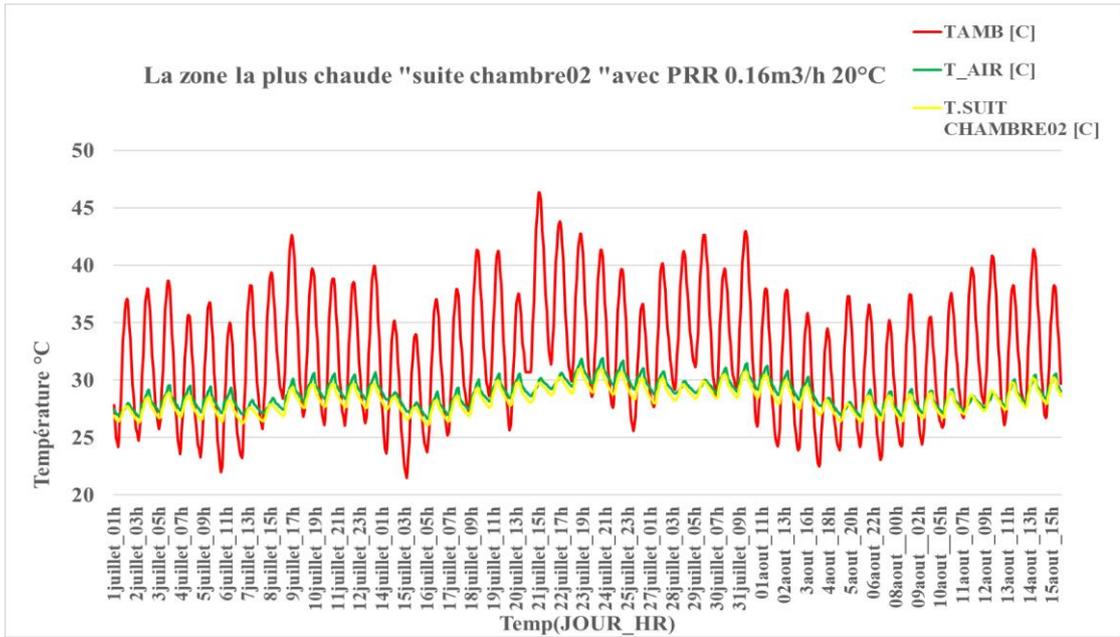


Figure IV .13 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.16 m³/h 20°C pour la zone la plus chaude

- **Debit d'eau 0.180 m³/h:**

Tableau IV.12: Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.18 m³/h 20°C pour la zone la plus chaude

La température ambient (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de salon avec plafond (°C)
46.33°C	29.83	29.68°C

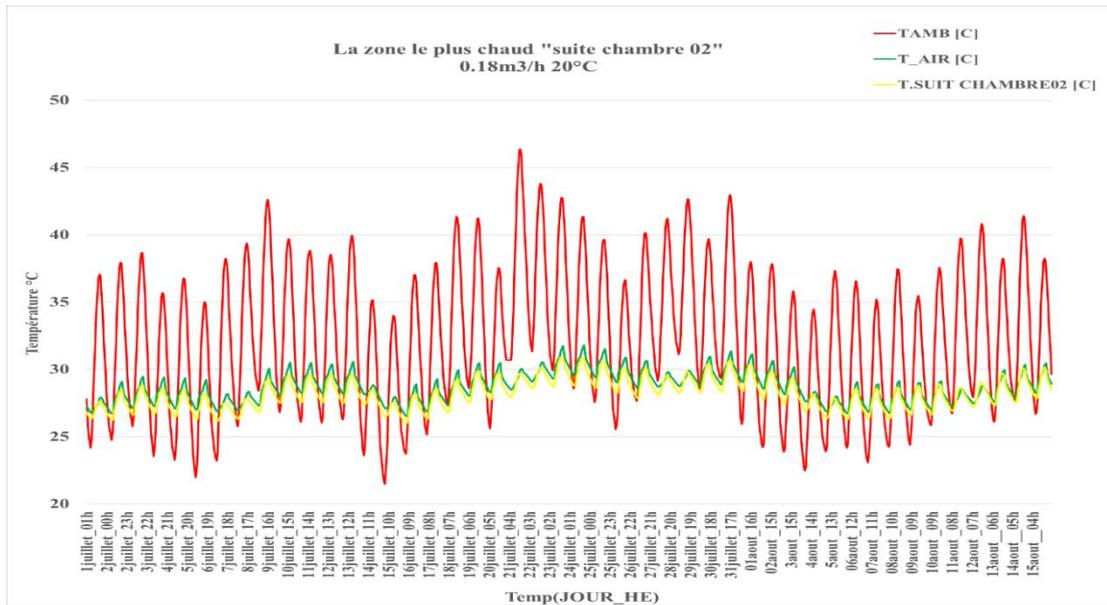


Figure IV.14 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.18 m³/h20°C pour la zone la plus chaude

- **Débit d'eau 0. 200 m³/h :**

Tableau IV.13: Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h20°C la zone la plus chaude

La température ambient (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de salon avec plafond (°C)
46.33°C	29.72°C	29.59°C

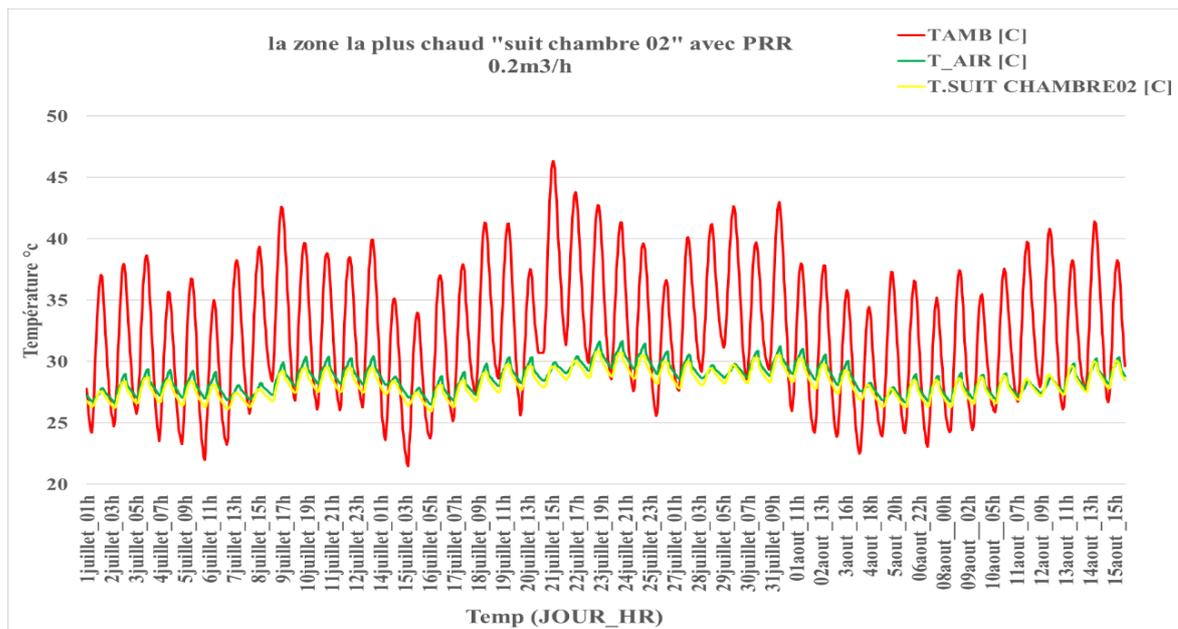


Figure IV.15: Résultat de simulation avec plafond radiant de $0.20 \text{ m}^3/\text{h}20^\circ\text{C}$ la zone la plus chaude

Tableau IV.14 : Résultat de simulation de tous les débits

Débit (m^3/h)	La température ambient ($^\circ\text{C}$)	La température de l'air intérieur ($^\circ\text{C}$)	La température de suite chambre 02 avec plafond ($^\circ\text{C}$)
0.12 (m^3/h)	46.33 $^\circ\text{C}$	30.97 $^\circ\text{C}$	29.97 $^\circ\text{C}$
0.14 (m^3/h)	46.33 $^\circ\text{C}$	30.05 $^\circ\text{C}$	29.93 $^\circ\text{C}$
0.16 (m^3/h)	46.33 $^\circ\text{C}$	29.91	29.74 $^\circ\text{C}$
0.18 (m^3/h)	46.33 $^\circ\text{C}$	29.83	29.68 $^\circ\text{C}$
0.2 (m^3/h)	46.33 $^\circ\text{C}$	29.72 $^\circ\text{C}$	29.59 $^\circ\text{C}$

D'après les figures et les tableaux, on a observé que la température de la chambre reste pratiquement la même (aussi les autre zone thermique), que le débit d'eau varie de $0,120 \text{ m}^3/\text{h}$ à $0,200 \text{ m}^3/\text{h}$, avec un diamètre de $0,001 \text{ m}$ et une température d'entrée d'eau de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. La différence de température observée est de seulement $0,38 \text{ }^\circ\text{C}$, ce qui suggère que le débit d'eau n'a pas un effet significatif sur la température intérieure dans les conditions spécifiées.

IV.4.2. L'effet de la Température d'entrés de fluide caloporteur (eau) sur T° intérieur de locale :

Dans cette partie, on a fixé le débit $Q=0.20 \text{ m}^3/\text{h}$ et le diamètre $D=0.001\text{m}$ et on a varié la température d'entrés de fluide caloporteur.

Les résultats issus sont récapitulés dans les tableaux et le graph suivant :

- **La Température d'entrée d'eau 18°C :**

Tableau IV.15 : Résultat de simulation avec plafond radiant de $0.20 \text{ m}^3/\text{h}18 \text{ }^\circ\text{C}$ pour la zone la plus chaude

La temperature ambient ($^\circ\text{C}$)	La température de l'air intérieur ($^\circ\text{C}$)	La température de salon avec plafond ($^\circ\text{C}$)
46.33 $^\circ\text{C}$	28.82 $^\circ\text{C}$	28.54 $^\circ\text{C}$

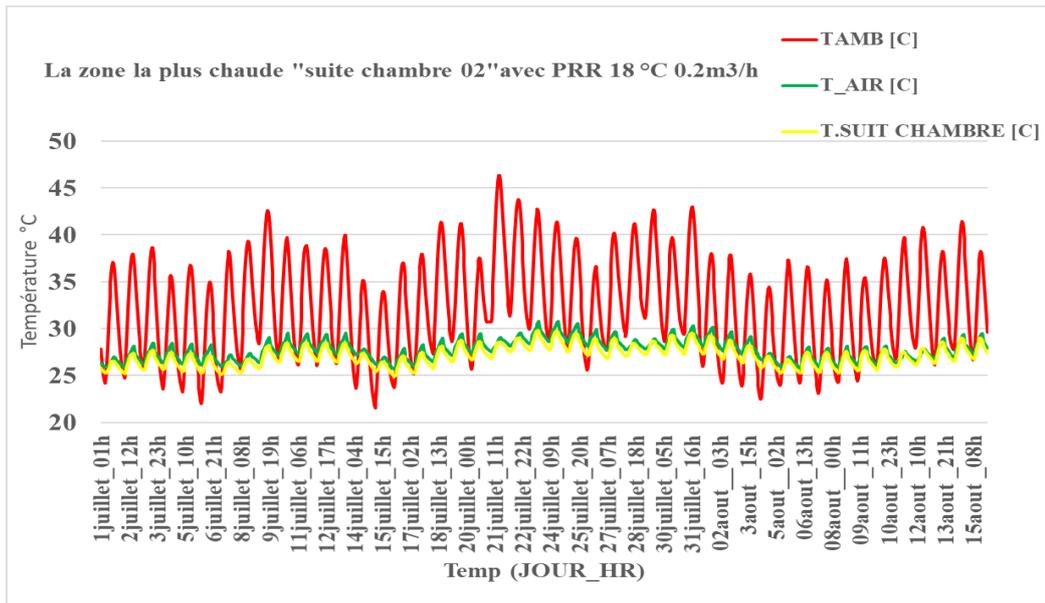


Figure IV.16 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h 18 °C pour la zone la plus chaude

- La Température d’entrée d’eau 16°C :

Tableau IV.16: Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h 16°C pour la zone la plus chaude

La température ambiante (°C)	La température de l’air intérieur (°C)	La température de salon avec plafond (°C)
46.33°C	27.95°C	27.51°C

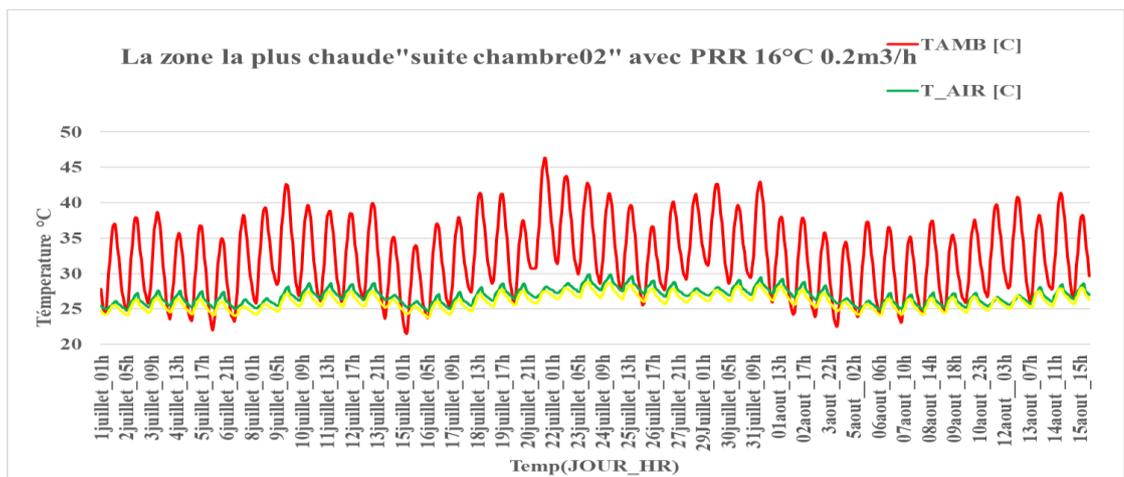


Figure IV.17 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h 16°C C pour la zone la plus chaude

• **Température d'entrée d'eau 15°C :**

Tableau IV.17: Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h15°C pour la zone la plus chaud

La température ambient (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de salon avec plafond (°C)
46.33	27.08	26.64

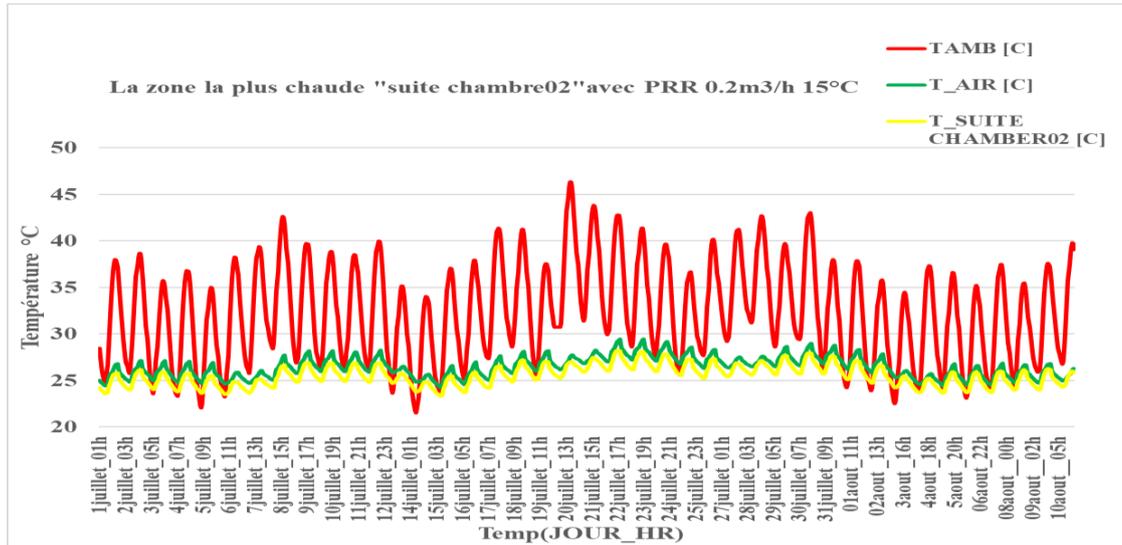


Figure IV.18 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.20 m³/h15°C pour la zone la plus chaude

Tableau IV.18 : Résultat de simulation de toutes les températures d'entrés de fluide caloporteur21juillet_17h

La température d'entrées de fluide caloporteur	La température ambiante (°C)	La température de l'air (°C)	La température de suite chambre02 avec plafond (°C)
20 °C	46.33°C	29.72°C	29.59°C
18°C	46.33°C	28.82°C	28.54°C
16°C	46.33°C	27.95°C	27.51°C
15°C	46.33°C	27.08°C	26.64°C

D'après les résultats des figures et des tableaux On a obtenu que La température intérieure est passée de 29,72 °C à 27,08 °C lorsque la température d'entrée de l'eau a été modifiée. Cela signifie que la température a diminué de 2,64 °C avec le plafond radiant rafraîchissant.

De même, la température de la chambre sans panneaux était de 29,59 °C tandis que la température avec le tapé nattes capillaires était de 26,64 °C, montrant une différence de 2,95 °C.

Ces résultats indiquent que la température d'entrée de l'eau a une influence significative sur la température intérieure lorsque le diamètre est de 0,002 m et le débit d'eau est de 0.200m³/h.

La diminution de la température d'entrée de l'eau de 20 °C à 15 °C a entraîné une diminution de la température intérieure de 29,59 °C à 26,64 °C, ce qui montre que la température d'entrée de l'eau a un effet important sur le système de tapé nattes capillaires.

IV.4.3. L'effet de la condensation :

Le point faible du plafond froid est le risque de condensation : c'est le point de rosée de l'air ambiant qui détermine la température minimale admissible de l'eau froide (entre 16 et 19°C). Dans certains cas, lorsque l'humidité relative de l'air ambiant est importante [8].

Pour cette raison, on a calculé s'il y a une condensation ou non dans notre cas, par l'utilisation du graph psychrométrique, nous avons obtenu les résultats suivants :

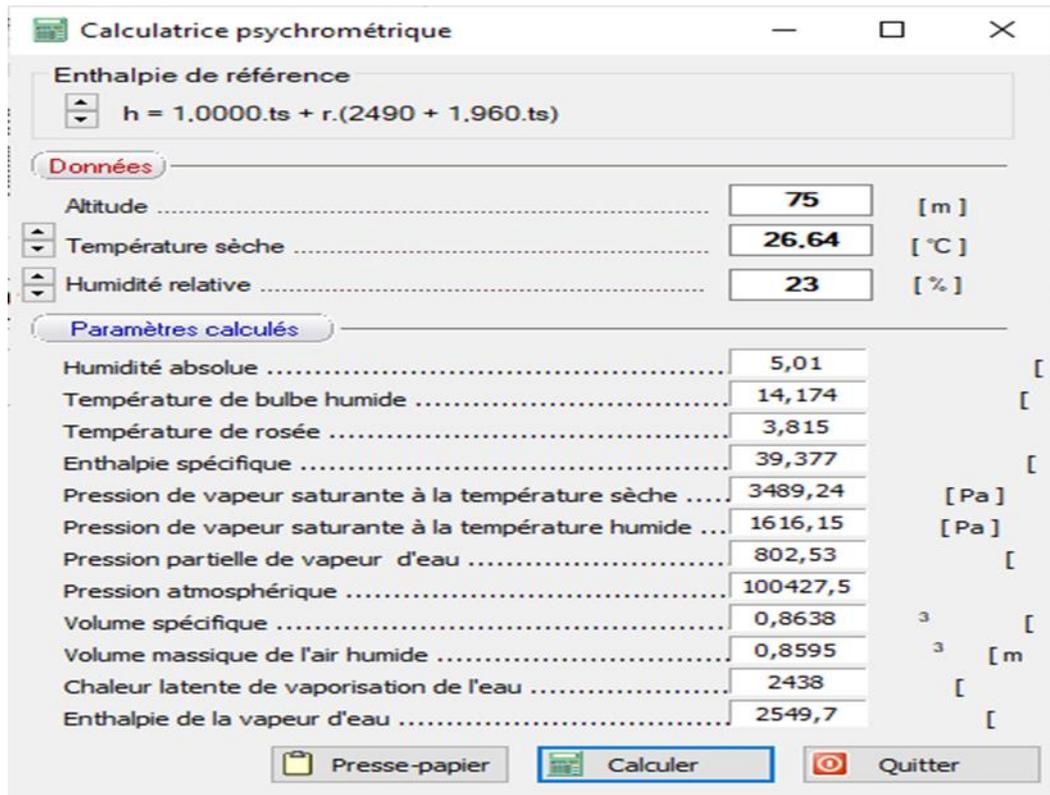


Figure IV.19 : les paramètres thermiques de la zone

➤ **Discussion des résultats :**

D’après les résultats de figures et on constate que la température rosé 3.815 lorsque l’humidité relative 23%, l’altitude de noter région (el oued) 75 m, la température intérieur 26.64 °C et la température d’eau 15°C.

On remarque que la température de la surface (T_{surface}) est supérieure à la température de rosée (T_{rosée}), ce qui signifie qu’il n’y aura pas de condensation. La température de surface de 26.64°C est plus élevée que la température de rosée de 3.851°C. car la surface reste plus chaude que la température à laquelle l’humidité se condense.

IV.4.4. L’effet du diamètre de tube de fluide caloporteur sur T° intérieur de locale :

Dans cette partie, ont fixé débit $Q=0.200 \text{ m}^3/\text{h}$ et température de $T=15 \text{ °C}$ et on a varié diamètre.

Les résultats issus sont récapitulés dans les tableaux et le graph suivant :

- **Diamètre D=0.002 m :**

Tableau IV.19 : Résultat de simulation avec plafond radiant de $0.20 \text{ m}^3/\text{h}15^\circ\text{C}$ la zone la plus chaude

La température ambiante ($^\circ\text{C}$)	La température de l'air intérieur ($^\circ\text{C}$)	La température de salon avec plafond ($^\circ\text{C}$)
46.33 $^\circ\text{C}$	27.07 $^\circ\text{C}$	26.63 $^\circ\text{C}$

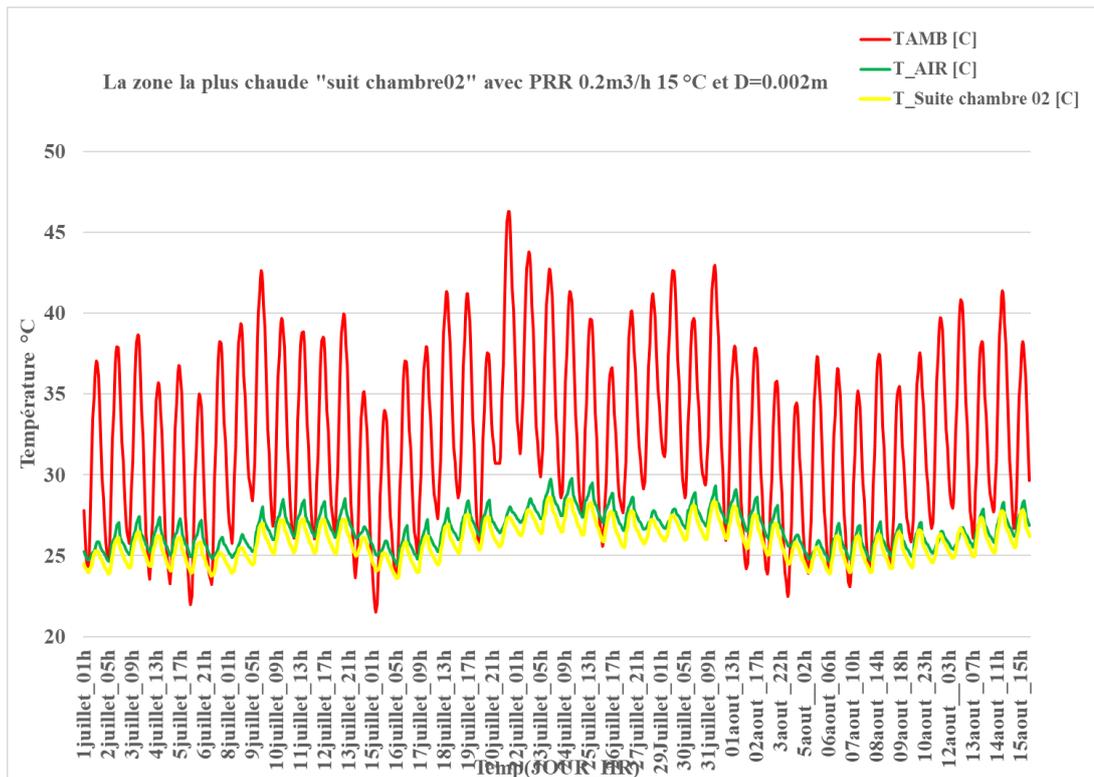


Figure IV. 20 : Résultat de simulation avec plafond radiant de $0.2 \text{ m}^3/\text{h}15^\circ\text{C}$ $D=0.002\text{m}$ pour la zone la plus chaude

- **Diamètre $D= 0.003 \text{ m}$:**

Tableau IV.20: Résultat de simulation avec plafond radiant de $0.2 \text{ m}^3/\text{h}20^\circ\text{C}$ pour la zone la plus chaude

La température ambiante ($^\circ\text{C}$)	La température de l'air intérieur ($^\circ\text{C}$)	La température de suite chambre 02 avec plafond ($^\circ\text{C}$)
46.33 $^\circ\text{C}$	27.06 $^\circ\text{C}$	26.62 $^\circ\text{C}$

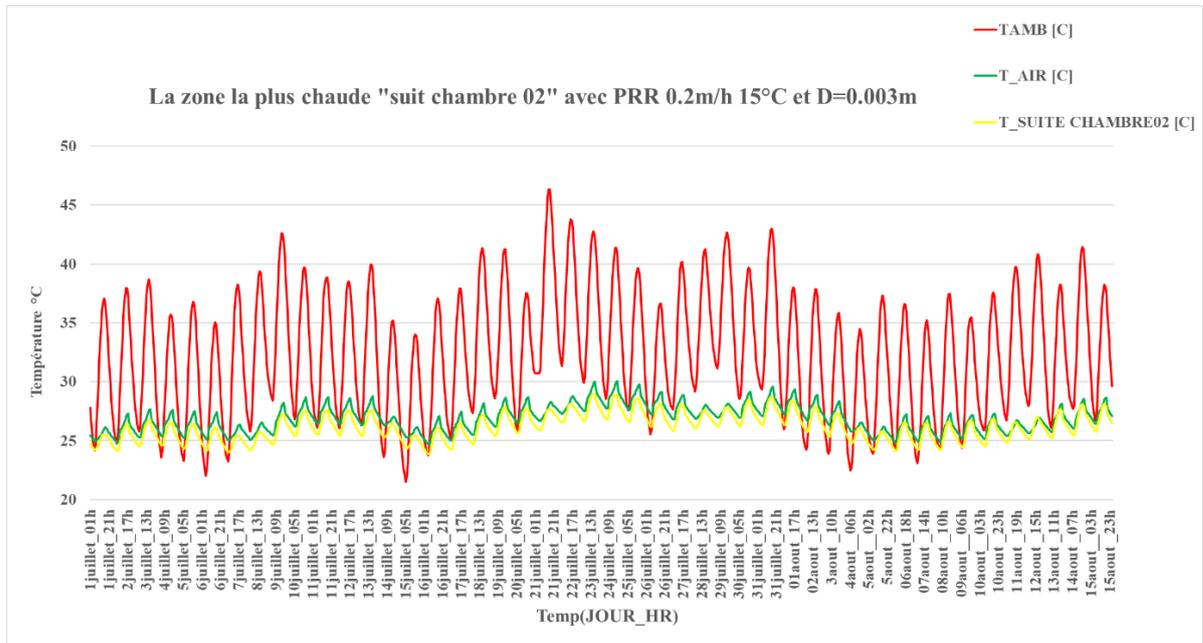


Figure IV.21 : Résultat de simulation avec plafond radiant de 0.12 m/h20°C et **D=0.003m** pour la zone la plus chaude

Tableau IV. 30 : Résultat de simulation de tous es diamètres

La diamètre (m)	La température ambient (°C)	La température de l'air intérieur (°C)	La température de suite chambre 02 avec plafond (°C)
0.001 m	46.33°C	27.08°C	26.64°C
0.002 m	46.33°C	27.07°C	26.63°C
0.003 m	46.33°C	27.06°C	26.62°C

➤ Discussion des résultats :

Selon les résultats des figures et des tableaux, il a été constaté que l'augmentation des nattes capillaires du système a entraîné une légère baisse de la température intérieure, passant de 27,08 °C à 27,07 °C, ce qui représente une diminution de seulement 0,01 °C. Ces résultats suggèrent donc que le diamètre des tubes a un effet très faible sur la température intérieure dans notre système de rafraîchissement.

IV.6. Conclusion :

Les résultats obtenus dans ce chapitre mettent en évidence plusieurs aspects importants du plafond rafraîchissant à savoir :

-Réduction de l'écart de température : le système de plafond radiant rafraîchissant permet de réduire l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, ce qui contribue à maintenir des températures plus homogènes et confortables à l'intérieur.

-Impact limité du débit d'eau : dans les conditions spécifiques étudiées, les variations du débit d'eau ont montré une faible influence sur la température intérieure. Cela indique une certaine flexibilité dans le fonctionnement du système, permettant des ajustements du débit sans provoquer des variations majeures de la température intérieure.

-Influence significative de la température d'entrée de l'eau : la température de l'eau d'entrée du système a une grande influence sur la température de l'habitation. Il est crucial de contrôler et réguler la température de l'eau d'entrée pour obtenir les conditions de confort souhaitées à l'intérieur.

-La température de la surface (T_{surface}) dans notre cas d'étude est supérieure à la température de rosée ($T_{\text{rosée}}$), ce qui signifie qu'il n'y aura pas de condensation

-Faible influence du diamètre des tubes de fluide.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

En conclusion, ce travail de mémoire a étudié l'impact du plafond radiant rafraîchissant sur le confort thermique pour répondre aux besoins de refroidissement d'une habitation dans la région d'El Oued, au sud de l'Algérie.

Le premier axe de l'étude portait sur l'élaboration d'un modèle en utilisant le logiciel TRANSYS. La validation des résultats obtenus a été comparée à l'expérimentation de l'article de Tiberiu Catalina, confirmant ainsi que le modèle théorique donne des résultats satisfaisants.

Le deuxième axe était consacré à l'intégration de ce système dans une habitation étudiée.

Le choix du système rafraîchissant et l'effet du débit, de la température d'entrée de l'eau et du diamètre suent le confort thermique.

Les résultats de cette étude ont montré que l'utilisation de techniques de refroidissement actif, telles que les tubes de nattes capillaires et les panneaux radiants rafraîchissants, peut contribuer à réguler la température à l'intérieur des bâtiments et améliorer le confort thermique.

Il est important de noter que les performances des systèmes de rafraîchissement peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment la conception, les matériaux utilisés et les conditions climatiques spécifiques.

En résumé, la température de l'eau d'entrée et le diamètre des tubes sont des facteurs importants à prendre en compte dans la conception et le fonctionnement du système de plafond radiant rafraîchissant, tout en tenant compte du débit. Ces paramètres ont des influences significatives sur la température intérieure et les performances globales du système.

L'humidité relative à un effet (climat sec ou humide) sur le plafond radiant rafraîchissant et dans notre cas la température de la surface (T_{surface}) dans notre cas d'étude est supérieure à la température de rosée ($T_{\text{rosée}}$), ce qui signifie qu'il n'y aura pas de condensation.

Cette différence de températures de $11,20^{\circ}\text{C}$ jusqu'à $13,47^{\circ}\text{C}$ suggère que le système de plafond froid parvient à réduire efficacement la température intérieure par rapport à la température extérieure élevée. Ce qui contribue à maintenir un niveau de confort thermique acceptable à l'intérieur, malgré les conditions extérieures extrêmes.

Perspective :

Étude technique économique : Il est essentiel de réaliser une étude technique et économique approfondie pour évaluer les performances et les coûts associés au système. Cela permettra de déterminer l'efficacité du système actuel et d'identifier les domaines où des améliorations peuvent être apportées.

Chauffage avec ce système : Il est important d'étudier le système de chauffage du plafond radiant, leur coût d'installation et leur impact environnemental.

L'utilisation de pompes à chaleur et de systèmes photovoltaïques : L'utilisation de pompes à chaleur permet de rendre le système réversible et faire le chauffage et le rafraîchissement, et les systèmes photovoltaïques pour l'alimentation électrique des pompes. Cependant, il convient d'évaluer attentivement la faisabilité technique et économique de l'intégration de ces technologies dans le système existant.

Étudier l'utilisation de ce genre de système dans des zones arides et semi-arides : Il peut être judicieux d'étudier d'autres sites qui sont arides ou semi-arides pour évaluer si le système peut être adapté à ces conditions. Cela nécessiterait une analyse des différences climatiques, des ressources disponibles et des exigences spécifiques à ces régions.

Étudier ce système avec la ventilation : Il est important d'évaluer les différentes options de ventilation disponibles, telles que la ventilation naturelle ou mécanique, et de déterminer la meilleure approche en fonction des besoins spécifiques du système.

Impact des matériaux sur le système : L'évaluation de l'impact des matériaux utilisés dans le système est essentielle du point de vue environnemental. Il convient de prendre en compte les aspects tels que l'empreinte carbone, la durabilité des matériaux et leur recyclable.

REFERENCES

- [1] K. BENHALILOU, Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi-aride, pp. 263, mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère, option : architecture bioclimatique, Constantine (Algérie), 2008
- [2] M. Amirat, S.M.K. El Hassar « Economies d'Énergie dans le Secteur de l'Habitat Consommation Electrique des Ménages- Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 27 – 37
- [3] Gianluca CADONI, Les systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine et la conception bioclimatique du bâtiment. Méthodologie d'analyse et évaluation de réalisations à travers le monde, Thèse de doctorat en architecture (Espaces, Cultures, Sociétés) 10 décembre 2012
- [7] Section de Génie Civil, 4ème année. Roulet Claude-Alain Chargé de cours LAUSANNE, 2016. THERMIQUE DU BATIMENT TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ENE.
- [8] Tiberiu Catalina ¹, Joseph Virgone ² 2014. PLAFOND RAFRAICHISSANT, CONFORT THERMIQUE ASSOCIE ET RISQUES DE CONDENSATION.
- [10] Yongli Yuan, Xiang Zhou & Xu Zhang 2019. Numerical and experimental study on the characteristics of radiant ceiling systems.
- [11] P. Pepinster. 1998. PLAFONDS FROIDS ET INTRODUCTION D'AIR LAMINAIRE
- [12] Système de plafond rafraîchissant Type WK-DK-S Plafond rafraîchissant thermoactif
- [15] Stanley A. Mumma, Ph.D., P.E. evaluation section of the 2000 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment 2 strongly support the application of this technology. Ceiling Panel Cooling Systems
- [19] Lin Su, Nianping Li*, Xuhan Zhang, Yeyao Sun, Jiawei Qian 2015. Heat transfer and cooling characteristics of concrete ceiling radiant cooling panel
- [20] Y.L. Yin, R.Z. Wang*, X.Q. Zhai, T.F. Ishugah / Building and Environment 71 (2014) 15-23. Recherche expérimentale sur les performances de transfert de chaleur et phénomène de condensation de l'eau des panneaux de refroidissement par rayonnement
- [21] Shigeru Okamoto a *, Hisataka Kitora b, Hiromasa Yamaguchi b, Tatsuo Oka c 2009. A simplified calculation method for estimating heat flux from ceiling radiant panel
- [22] J. Miriel a*, L. Serres a, A. Trombe b 2002. Systèmes de chauffage et de refroidissement des panneaux de plafond radiants : étude expérimentale et simulée des performances, du confort thermique et des consommations d'énergie
- [23] T. Catalina¹, J. Virgone¹ and JJ. Martin² 2006. Évaluation des performances, du confort thermique et de l'énergie Consommation d'un Plafond Radiant Réversible par Capillaire Mat : Application pour les Bâtiments Préfabriqués
- [24] Tiberiu Catalina et Joseph Virgone 2007. Étude expérimentale du refroidissement des locaux à l'aide de panneaux de plafond équipés de tapis capillaires

- [25] Tiberiu Catalina ^{a,*}, Joseph Virgone ^{b,c}, Frederic Kuznik ^a / Building and Environment 44 (2009)1740-1750 1Evaluation du confort thermique par CFD combiné et étude expérimentale dans une salle d'essai équipée d'un plafond rafraîchissant
- [26] Francesco Causone ^a, Stefano P. Corgnati ^a, Marco Filippi ^a, Bjarne W. Olesen^b /Energy and Buildings Volume 41, Issue 6, June 2009, Pages 622-62. Évaluation expérimentale des coefficients de transfert de chaleur entre plafond radiant et pièce
- [27] Manuel Andrés-Chicote*, Ana Tejero-González, Eloy Velasco-Gómez, Francisco Javier Rey-Martínez 2012. Expérience sur la capacité de refroidissement d'un plafond radiant
- [28] Dr. E. T. Mohamed¹, Prof. K. N. Abdalla² 2014.Conception d'un système de refroidissement par panneaux radiants pour System de climatisation d'été
- [29] Esmail M. Saber ^{a, b, *}, Kwok Wai Tham ^a, Hansjürg Leibundgut ^c 2015.Un examen des systèmes de refroidissement à haute température dans les bâtiments tropicaux
- [30] Haida Tang, Xiao-Hua Liu*, Haoyue Li, Yan Zhou, Yi Jiang 2016. Etude sur la réduction des risques de condensation sur le refroidissement par rayonnement plafond avec traitement superhydrophobe
- [31] Yongli Yuan, Xu Zhang, Xiang Zhou & Jun Gao 2016.Une méthode de simulation orientée vers l'expérience pour la détermination de la capacité de refroidissement d'un système de panneaux rayonnants de plafond de refroidissement
- [32] Yongli Yuan, Xiang Zhou & Xu Zhang 2019.Etude numérique et expérimentale sur les caractéristiques du système de plafond rayonnant
- [33] Youness Khattari ^{a, *}, Ahmed Arid ^b, Abdelmajid El Ouali ^c, Tarik Kousksou ^a, Isam Janajreh ^d, El Mahjoub Ben Ghoulam ^e 2021.Etude CFD sur la validité de l'utilisation du PCM dans un plafond rafraîchissant contrôlé intégré dans une pièce ventilée.
- [34] Jan Skovajsa ^{*}, Pavel Drabek, Stanislav Sehnalek, Martin Zalesak 2022. Conception et évaluation expérimentale du refroidissement à base de matériaux à changement de phase
- [35] Ke Du^{1,2}, Huijun Wu^{1,2 *}, Yanling Guo^{1,2}, Gongsheng Huang³, Xinhua Xu⁴ and Yanchen Liu^{1,2} 2022. Amélioration de la capacité de refroidissement par rayonnement sans condensation pour les plafonds rafraîchissants à faible émissivité via des membranes infrarouges adaptatives à double peau
- [37] Lamouri Salah Eddine, JUNE 2016. Contribution à une élaboration d'un plan de gestion des déchets solides ménagers et assimilés pour la ville d'El Oued
- [39] Zones climatiques de l'Algérie Compilé par B. BELGAID Département d'architecture de Batna bel_bra@yahoo.fr
- [40] (D.T.R. C 3.2) Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Règles de clacule des déperdition calorifique Fascicule 1
- [41] Ouvrage, 'Recommandations Architecturales', ENAG Edition, Alger
- [42] Capture d'écran de logical METEONORM
- [43]

[46] TRNSYS (TraNsient SYstem Simulation program), Solar Energy Laboratory, Madison, WI, USA, 2004, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>.

[47] Documentation de TRNSYSBIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE :

[4] ADEXSI/ Rafraîchissement par évaporation

[5] <https://www.construction21.org/france/articles/h/la-vegetalisation-des-facades-nouvel-enjeu-des-projets-durbanisme.html>

[6] <https://fr.trotec.com/>

[9] <https://thermacome.fr/paroles-dexpert/plafond-rayonnant/>

[13] <https://energieplus-lesite.be/Plafond-froids>

[14] https://switzerland.giacomini.com/sites/giacomini.ch/files/Syst%C3%A8mes_plafond_rayonnant_FR0004.pdf

[16] http://astech-suisse.ch/sm/upload/doc/523089_1483270931.pdf

[17] Système de plafond froid - de quoi il s'agit et comment il fonctionne <https://kak-svoimi-rukami.com/fr/2017/04/sistema-holodnyh-potolkov-chto-eto-takoe-i-kak-on-rabotaet/>

[18] ENERGIE+/ la dalle active

[36] https://dcommerce-eloued.dz/?page_id=16

[38] <http://alouadesouf.canalblog.com/archives/2009/01/21/12608030.html>

[44] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/el-oued/el-oued-3233/#climate-table>

[45] GOOGLE EARTH

[48] <https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8>