République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université YAHIA FARES de Médéa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

Filière : Génie civil

Spécialité : Equipement de l'habitat

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

Thème

Etude d'une installation de chauffage par plancher d'une mosquée

Présenté par :
Melle .ABDESSLEM Ratiba

Proposé et dirigé par :
Dr. CHIBA Younes

Promotion : 2017/2018.

Remerciements

En déposants ce mémoire, je tien à remercier et à présenter mon gratitude en premier lieu à mon encadreur le ***DR CHIBA YONES*** *pour la qualité du thème qu'il me a proposé, pour ses conseils judicieux et pour m'avoir procuré la documentation.*

Ma reconnaissance va particulièrement à me enseignant ***DR TRIKI Zakaria*** *pour toute l'aide qui j'ai apporté et ses conseils fructueux afin de m'orienter dans mon travail.*

Il m'est agréable de remercier mes enseignants du département de génie mécanique qui ont contribués à mon formation,

Son oublie toutes les personnes qui m'ont généreusement approché soutien moral ou autre.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :
Ma très chère et douce mère, Mon très cher père à qui m'adresse au ciel les vœux les plus ardents pour la conservation de leur santé et de leur vie. *Je le dédie également:*
A mes frères.
A toute ma famille.
A mes collègues.
A chaque cousins et cousines.
A toutes la promotion de génie mécanique : 2018-2019

ملخص

يهدف العمل المقدم من اجل تطوير أداة حساب نظام التدفئة الأرضية لمبنى سكني يقع في منطقة المدية.لهذا الغرض أخذنا بعين الاعتبار آليات انتقال الحرارة من خلال تحديد الضياع الحراري لكل غرفة باستخدام الطريقة الألمانية . النتائج التي تم الحصول عليها تم تحليلها و مناقشتها

الكلمات المفتاحية : التدفئة الأرضية , توازن الحرارة , فقدان الحرارة .

Résumé

Le travail présenté consiste à développer d'un outil de calcul pour dimensionner l'installation de chauffage par plancher d'un immeuble résidentiel implanté à Médéa. Pour ce faire, les modes de transfert de chaleur sont pris en considération à travers de détermination des déperditions calorifiques pour chaque local en utilisant la méthode Allemande. Les résultats obtenus sont analysés et discutés.

Mots clés : chauffage par plancher, dimensionnement, déperdition calorifiques, choix des équipements.

Abstract

The purpose of the work is to develop the calculation tool for the ground heating system of a residential building located in the Medea area. For this purpose, we took into consideration the mechanisms of heat transfer by determining the thermal loss of each room using the German method. The results obtained were analyzed and discussed.

Keywords: floor heating, heat balance, heat loss.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I.1 : schéma du phénomène de conduction…….....03

Figure I.2 : schéma du phénomène de convection……...04

Figure I.3 : schéma du phénomène de rayonnement ……..04

Figure I.4 : mur M.S.C en double cloison en contact avec l'extérieur……05

Figure I.5 : mur M.S.C en simple cloison d'épaisseur 10 cm en contact avec l'extérieur…..06

Figure I.6 : composition de terrasse ……07

Figure I.7: composition de plancher entre étage…….08

Figure I.1 : composition de plancher sol……..08

Figure I.2: composant de es portes en bois en contact avec l'extérieur……...09

Figure I.3 : composant de es portes en bois en contact avec l'intérieur……...09

Figure I.4 : composant de es portes en métallique en contact avec l'extérieur……..10

Figure I.5 : composant de es portes en métallique en contact avec l'intérieur…….....10

Chapitre II :

Figure II.1 : exemple de plancher chauffant……16

Figure II.2: une chaudière……17

Figure II.3: le brûleur……...17

Figure II.4: le vase d'expansion……...18

Figure: II.5 : la soupape……...18

Figure II.6: le manomètre……18

Figure II .7 : le circuilateur…….....19

Figure II.8: le collecteur……..20

Figure II .9 : composition du plancher réversible……20

Figure II.10 : les tubes de PER……21

Figure II.11 : les carreaux céramiques, dalles de pierre non sensible à la présence d'humidité, éléments de granit ……22

Figure II.12 : le thermostat ambiant ……..23

Figure II.13 : la sonde ……...24

Figure II.14 : la vanne à trois vois mélangeuse destiné pour le gros débile……..24

Figure II.15: de la Différence de température moyenne entre la température de surface et la température ambiante…….....24

Figure II.16: l'influence de la résistance thermique du revêtement de sol $R_{\lambda,B}$…….27

Figure II.17 : l'émission surfacique par la température du fluide caloporteur……28

Figure II.18 : l'émission surfacique vers le bas …….29

Figure II.19: la résistance thermique du plancher…….....32

Chapitre III :

Figure III.1 : plan de mosquée…….36

Figure III.2 : plan de logement……37

Figure III.3 : l'influence de la résistance thermique du revêtement de sol $\boldsymbol{R_{\lambda,B}}$…….44

Figure III.4: une chaudière du groupe ECOFLAM…….52

Figure III.5: une vase d'expansion……..55

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I.1:donnant le coefficient K pour mur M.S.C en double cloison en contact avec l'extérieur……..06

Tableau I.2 : donnant le coefficient K pour mur M.S.C en simple cloison de 10cm d'épaisseur en contact avec l'intérieur……..06

Tableau I.3 : donnant le coefficient K de la toiture…….07

Tableau I.4 : donnant le coefficient K du plancher entre étage……...08

Tableau I.5 : donnant le coefficient K du plancher sol……09

Tableau I.6 : donnant le coefficient K des portes en bois stratifié en contact avec l'extérieur.....09

Tableau I.7 : donnant le coefficient K des portes en bois stratifié en contact avec l'intérieur……..10

Tableau I.8 : donnant le coefficient K de les portes en métalliques en contact avec l'extérieur……..10

Tableau I.9 : donnant le coefficient K des portes en métallique en contact avec l'intérieur……...11

Tableau I.10 : donnant les pressions de saturations de différentes températures……12

Chapitre II :

Tableau II.1 : donnant la majoration **«Z_D»** ……14

Tableau II .2 : donnant la majoration **«Z_H»**……14

Tableau II .3 : donnant la caractéristique de local «R»……...15

Tableau II.4 : donnant la caractéristique de maison **«H»**……...15

Tableau II .5 : donnant la perméabilité des joints **«a»**……16

Chapitre III :

Tableau III.1 : conditions extérieures (données géographique)…….36

Tableau III.2 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle prière d'homme……..38

Tableau III.3 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle prière femme……..39

Tableau III.4 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle d'imam……39

Tableau III.5 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la chambre 01……..40

Tableau III.6 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la chambre 02……...40

Tableau III.7 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de séjour……40

Tableau III.8 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de hall……41

Tableau III.9 : donnant les valeurs de la déperdition calorifique Qdep de mosquée……..41

Tableau III.10 : donnant les valeurs de la déperdition calorifique Qdep de logement……42

Tableau III.11 : donnant les valeurs de l'émission surfacique Q_{des} de locaux……..43

Tableau III.12 : donnant les résultats de calculs du la Température de départ de l'eau…….44

Tableau III.13 : donnant les résultats de calculs du la Température de départ de l'eau…….45

Tableau III.14 : donnant les résultats de Calcul la Longueur des boucles …….46

Tableau III.15: donnant les résultats de Calcul de L'émission surfacique vers le bas……47

Tableau III.16: donnant les résultats de Détermination du débit d'eau……..49

Tableau III.17: donnant les résultats de Détermination du la puissance de locaux……50

Nomenclature

N°	Symbole	Désignation	unité
01	T	Température	degré
02	φ	Flux de chaleur	W
03	D	Dérivée particulaire	-
04	d	Dérivée totale	-
05	λ	Conductivité thermique	W/(m.degré)
06	h	Coefficient d'échange de chaleur par convection	W/(m2.degré)
07	S	Surface d'échange	m2
08	$T\infty$	Température du fluide	degré
09	σ	Constante de Stefan-Boltzmann (5,67 × 10−8)	W m–2 K–4
10	e	Facteur d'émission de la surface	-
11	Ti	Température initiale du sol avant l'échauffement	degré
12	K	coefficient de transmission surfacique	$W/m^2.\circ c$
13	R_{Tot}	la résistance thermique totale de la paroi	$m^2.\circ c/W$
14	h_i	le coefficient superficiel intérieur	$W/m^2.\circ c$)
15	h_e	le coefficient superficiel extérieur	$W/m^2.\circ c$)
16	e_i	l'épaisseur de la couche de matériau	m
17	λ_i	la conductivité thermique du matériau	$W/m^2.\circ c$
18	R_{se}		
19	R_{si}		
20	T_{int}	la température de la paroi intérieur	$\circ c$
21	T_{ext}	la température de la paroi extérieur	$\circ c$
22	T_{rai}	la température de rosée de l'air intérieur	$\circ c$
23	π	la perméabilité du matériau constituent la couches	Kg/m.s
24	Q_{dep}	la Déperditions totales	W
25	Q_{tr}	la Déperditions par transmission	W
26	Q_v	la Déperditions par renouvellement d'air	W
27	Q_0	les déperditions surfacique à travers les parties courantes des parois en contactes avec l'extérieur et l'intérieur	W

28	Z_D	la majoration «Z_D»	%
29	Z_H	la majoration «Z_H»	%
30	q_{des}	Emission surfacique	W/m^2
31	A_F		
32	$R_{\lambda,B}$	la résistance thermique du revêtement de sol	m^2.K/W
33	q_u	L'émission surfacique vers le bas	W/m^2
34	R_0	la résistance thermique partielle haute d'un plancher chauffant	$m^2.K/W$
35	R_u	la résistance thermique partielle basse d'un plancher chauffant	$m^2.K/W$
36	C_w	la capacité thermique de l'eau	j/(kg.K
37	m_H	le débit d'eau	kg/s

SOMMAIRE :

Nomenclature
Liste des figures
Liste des tableaux

Résumer

I. Mode de transfert de chaleur

Mode de transfert de chaleur 3
I.Introduction 3
I.2Transfert de chaleur 3
I.2.1 Définition 3
I.2.2 Transfert de chaleur par conduction 3
I.2.3 Transfert de chaleur par Convection 4
I.2.4 Transfert de chaleur par Rayonnement 4
Choix des différentes parois : 5
Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» pour notre projet : 5
I.4.1 Mur double cloison 5
I.4.2 Mur simple cloison 6
I.4.3 Toiture (plafond térrace) 7
Plancher entre étage : 7
Plancher sol : 8
I.4.6 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en bois en contact avec l'extérieur 9
I.4.7 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en bois en contact avec l'intérieur 9
I.4.8 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en métallique en contact avec l'extérieur 10
I.4.9 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en métallique en contact avec l'intérieur 10
I.5Etude de condensation 11
I.5.1 Définition de la condensation 11
I.5.2 Condensation superficielle 11

I.5.3 La condensation de masse …….. ….12

II. Bilan thermique

II.1 Le principe de bilan thermique 13
II.2 Formulation mathématique 13
Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base (méthode d'ALMO): 13
II.2.1.1 Expression générale des déperditions 13
II.3 Système de chauffage par plancher 16
II.3.1 Présentation de système 16
Les composants de système: 17
II.3.2.1 La chaudière 17
II.3.2.2 Le brûleur 17
II.3.2.3 Le vase d'expansion 17
II.3.2.4 La soupape 18
II.3.2.5 Le manomètre 18
II.3.2.6 La régulation 19
II.3.2.7 Le circuilateur 19
II.3.2.8 Le purgeur d'air 19
II.3.2.9 La capacité tampon 19
II.3.2.10 Les collecteurs 19
II.3.2.11 L'antigel 20
II.3.3 LE PLANCHER 20
II.3.3.1 Composition du plancher réversible 20
II.3.3.1.1 Les isolants 21
II.3.3.1.2 Mode de fixation des tubes 21
II.3.3.1.3 Les tubes 21
II.3.3.1.4 La dalle d'enrobage 22
II.3.3.1.5 Treillis anti-retrait 22
II.3.3.1.6 L'isolant périphérique 22
II.3.3.1.7 Le revêtement 22
II.3.3.1.8 Peuvent être utilisés 22
II.3.4 Régulation du système 23
II.3.4.1 Boucle de régulation 23
II.3.4.2 Appareils de régulation utilisés dans le système de chauffage 23

II.3.5 Choix du mode de régulation 24
II.3.5.1 La régulation individuelle 24
II.3.5.2 La régulation d'ensemble 25
Dimensionnement 25
Caractéristiques. 25
Emission de chaleur théorique 26
II.4.3 Emission de chaleur réelle 27
Emission surfacique $qdes$ (W/$m2$) 27
II.4.5 Choix du système de chauffage 27
Choix du pas : 28
II.4.7 Température de départ de l'eau 28
II.4.8 Longueur des boucles 31
Zone périphérique 31
Répartition des zones 31
Zone périphérique 31
Surface de la zone de séjour 31
Emission de la zone périphérique 31
Emission limitée par 31
II.4.11.2 Emission surfacique vers le bas 31
II.4.11.2.1 Résistance thermique du plancher 32
II.4.12 Détermination du débit d'eau 33

III.Résultat et discusion

III.1 Méthode de travail 35
III.2 Présentation du projet 35
III.2.1 Le but du projet 35
III.2.2 Situation géographiques 35
Géographique et climat de la ville de Médéa 35
Situation géographique du local : 36
III.2.2.3 Plan d'architecture du projet 36
III.3 Détermination des déperditions thermique dans l'ensemble des locaux de mosquée (méthode d'ALMO) 37
Exemple de calcul des déperditions thermiques (celles de la salle de prière d'homme) : 37

III.3.1.1 Calcul la déperdition surfacique par transmission à travers les parois $Q0$ 38
III.4 Calcul l'émission surfacique $qdes$ (W/$m2$) 43
III.5 Choix du système de chauffage 44
III.6 Calcul la Température de départ de l'eau 45
III.7 Calcul la Longueur des boucles 46
Zone périphérique 47
Répartition des zones 47
Zone périphérique 47
Surface de la zone de séjour 47
Emission de la zone périphérique 48
III.9 Détermination du débit d'eau 50
III.10 Détermination de la puissance de locaux 51
III.11 Le Choix des équipements de chauffage 51
III.11.1 Choix de la chaudière 51
III.11.1.1 Calcul de la puissance de la chaudière à installer 51
III.11.2 Dimensionnement de la cheminé 52
III.11.3 La ventilation de la chaufferie 53
III.11.4 Choix de vase d'expansion 53
Calcul du volume nominal minimal du vase d'expansion : 54
III.11.5 Choix de la pompe de circulation 55
Les schémas de l'installation de chauffage de plancher à notre projet : 56
Conclusion général
Référenses bibliographiques

Introduction générale :

Le chauffage dans son travail d'une mosquée à Médéa peut être utilisé sous différentes sources et formes. Il permet ainsi d'équilibrer le rapport entre le confort intérieur souhaité et les déperditions occasionnées, et ainsi avoir un confort intérieur convenable. Parmi les différents types de chauffages, le chauffage par le sol est le mieux adapté vu sa simplicité et son efficacité.

Le chauffage par planchers chauffants (ou grilles chauffantes) est un procédé déjà ancien (beaucoup utilisé dans les années 1960, pour son faible coût, dans les logements collectifs), qui, à son origine utilisait des tubes en acier (fer noir) noyés dans la dalle pleine et souvent attaché sur le ferraillage de cette dernière se qui avait pour effet de situer les tubes à environ 5 cm de la partie inférieure de la dalle (plafond). Ce type de pose était, et de loin le moins efficace en matière d'émissions thermiques hautes.
Quelques raisons qui furent fatales aux planchers chauffants dans le début des années 1970 :
La température moyenne de l'eau, souvent trop élevée (aux alentours de 55 à 60°C quand elle ne dépassait pas ces températures) ce qui a causé les problèmes bien connus de lourdeurs de jambes.
- Une grille chauffante par appartement, donc impossibilité de réglages indépendants pièce par pièce.
- Émissions par le plafond (tubes placés trop bas dans la dalle) d'où émissions thermiques vers le logement de dessous ce qui occasionnait des problèmes d'équilibrage.
- Forte inertie thermique ("temps de réponse thermique", pour plus d'exactitude) dû à la pose en dalle pleine. Ce qui rendait impossible une quelconque régulation et souvent des surchauffes en demi-saison.
- absence d'organe de réglage hydraulique. Ce qui entraînait des déséquilibres thermiques entre les différentes grilles et provoquait souvent des surchauffes locales.
- surface chauffante ne représentant qu'une faible partie de la surface totale des pièces d'où une hétérogénéité des températures. Raison pour laquelle les températures du fluide étaient si élevées.
C'est en 1978, qu'un arrêté interministériel (23 juin 1978) fixe la température superficielle du sol à 28°C [1] mais il est trop tard, le choix se porte à nouveau sur des émetteurs plus traditionnels comme les radiateurs.
Il faudra attendre le début des années 1980 et la venue sur le marché de nouveaux tubes en matériau de synthèse (polyéthylène réticulé "PER" ou "retube") pour que les planchers chauffants fassent à nouveau partie du choix des émetteurs. Ces nouveaux planchers chauffants sont dits "planchers chauffants basse température (PCBT)", dont la conception et les règles de dimensionnement n'ont plus rien à voir avec les précédentes.
En février 1990 paraît le nouveau qui fixe les conditions de mise en œuvre [2].

Le travail consiste à développer d'un outil de calcul pour dimensionner l'installation de chauffage par plancher d'un immeuble résidentiel implanté à Médéa.

Pour ce faire, on a devisé notre étude en trois parties principales :

- Chapitre I expose les modes de transfert thermique, et on doit vérifier certain nombre de critères et principalement : Limiter au maximum l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, assurer un certain coefficient à l'intérieur des locaux pour les occupants en limitant l'échange par rayonnement entre les occupants et les différentes parois extérieur et éviter la condensation superficielle et dans la masse pour les parois extérieures qui peut provoquer un endommagement .

- Le deuxième chapitre : est consacré au calcul mathématique, la détermination d'une installation constituée à calculer le bilan thermique de cette installation, c'est –à-dire la puissance calorifique à mettre en œuvre pour maintenir sa température stable.

- Enfin, dans le troisième chapitre : des résultats et discussion sont présentés pour illustrer le développement des équations théoriques présentées dans le chapitre précédent. Durant notre projet on va calcul des déperditions thermiques dans l'ensemble des locaux de mosquée ; on à utilisé la méthode de Retchole (d'ALMO), dimensionnement, choix et positionnement des corps de chauffe pour l'installation, choix de la chaudière à installer et choix des équipements et accessoires de régulation.

I. Modes de transfert de chaleur

II. Introduction :

Tout d'abord, on doit citer quelques notions du transfert de chaleur, deux corps à température différente échangent de l'énergie sous forme de chaleur, cet échange peut se faire suivant trois modes de transmission fondamentaux.

I.2 Notion de Transfert de chaleur :

I.2.1 Mode de transfert de chaleur:

On appelle « transfert de chaleur » le déplacement de la chaleur d'une région à un autre suite à une différence de température, ce déplacement peut se produire entre deux corps en contact (solide-solide, solide-fluide, fluide-fluide) ou entre deux parties d'un même corps.
L'énergie interne du système change au cours du déplacement de la chaleur en produisant [1]

- Le flux thermique transmis.
- La répartition de la température à l'intérieur du milieu considéré

I.2.2 Transfert de chaleur par conduction :

La conduction : est le transfert de chaleur des parties chaudes vers les parties plus froides, d'un même corps ou de deux corps en contact sans mouvement apparent de matière.
Ce mode peut s'effectuer dans les solides et les fluides. Cependant, c'est le seul mécanisme par lequel la chaleur peut se déplacer dans les solides opaques.

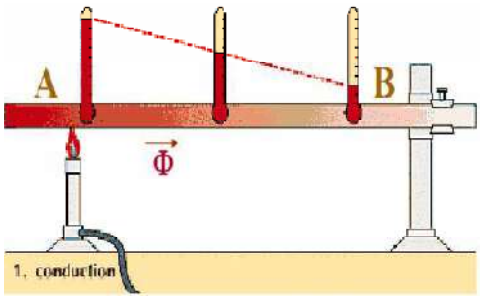
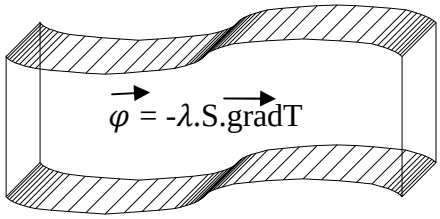


Figure I.1:schéma représentatif du phénomène de conduction [1]

La conduction est régie par la loi de Fourier [2] :



Avec :

- φ : Flux de chaleur en W.
- λ : Conductivité thermique en W/ (m.degré).
- T : Température en degré.
- S : Surface d'échange en m^2.

I.2.3 Transfert de chaleur par Convection :

C'est le mode de transmission de chaleur qui implique le déplacement d'un fluide, liquide ou gazeux.
On le trouve dans l'échange qui a lieu entre une paroi et un fluide.

- **Convection forcée :** On distingue la convection forcée, dans laquelle le mouvement du fluide est dû à l'action d'une pompe, d'un ventilateur ou d'une cheminée placée dans le circuit.
- **Convection naturelle :** la convection naturelle, dans laquelle le mouvement du fluide est crée par des différences de densité, elles-mêmes dues à des différences de températures existant dans le fluide.

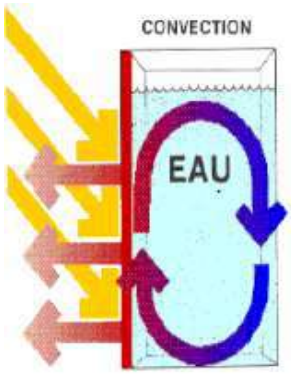


Figure I.2:schéma représentatif du phénomène de convection [1]

Le flux de chaleur échangé entre un fluide mis en contact avec une paroi de température différente est donné par la loi de Newton.

$$\varphi = h.S.(Tp - T\infty)$$

Avec

- h : Coefficient d'échange de chaleur par convection, en W/(m2.degré)
- Tp : Température de la paroi, en degré
- $T\infty$: Température du fluide, en degré
- S : Surface d'échange en m2.

I.2.4 Transfert de chaleur par Rayonnement :

Le rayonnement thermique est le mode de transmission par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température à un autre plus froid, les deux corps ne se touchent pas, mais ils sont séparés par un milieu transparent tel l'air, ou le vide. Il s'agit d'un rayonnement électromagnétisme, mais limité aux longueurs d'onde du ''rayonnement thermique'', dont l'absorption par certains corps a la pro ou en partie) ''l'énergie radiante'' en chaleur ou plus exactement en énergie calorifique.
En conséquence, l'énergie émise par rayonnement d'une surface S est donnée par l'équation de Stefan-Boltzmann :

$$\varphi = \sigma.e.S.(Tp^4 - T\infty^4)$$

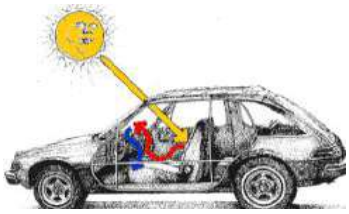


Figure I.3 : schéma représentatif du phénomène de rayonnement [3]

Avec

- σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5{,}67 \times 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}).
- e : Facteur d'émission de la surface.
- T_p : Température de la paroi, en degré
- $T\infty$: Température du milieu ambiant, en degré
- S : Aire de la section en m2

I.3 Choix des différentes parois :

On doit vérifier certain nombre de critères et principalement :

- Limiter au maximum l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur.
- Assurer un certain coefficient à l'intérieur des locaux pour les occupants en limitant l'échange par rayonnement entre les les occupants et les différentes parois extérieur.
- Eviter la condensation superficielle et dans la masse pour les parois extérieures qui peut provoquer un endommagement

I.4 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» pour notre projet :

On va déterminer dans un premier temps les coefficients de transmission thermique surfacique K pour chaque type de construction que se soit : murs, planchers, sol, toiture, portes, fenêtres [4].

Le coefficient K est donné par la formule suivante :

$$K = 1/R_{Tot} = 1/\left(1/h_i + \sum e_i/\lambda_i + 1/h_e\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \left[W/m^2.\circ c\right]$$

- K (en $W/m^2.\circ c$)représente le coefficient de transmission surfacique
- R_{Tot} (en $m^2.\circ c/W$)représente la résistance thermique totale de la paroi ;
- $1/h_i$ et $1/h_e$ (en $W/m^2.\circ c$)représente les coefficient superficiel intérieur et extérieur
- e_i (en m) : représente l'épaisseur de la couche de matériau
- λ_i (en $W/m^2.\circ c$) représente la conductivité thermique du matériau

I.4.1 Mur double cloison :

Le mur double cloison est continue en sept couches respectivement (faons , enduit platre , enduit ciment, brique creuse, lame d'air , brique creuse , enduit ciment.)

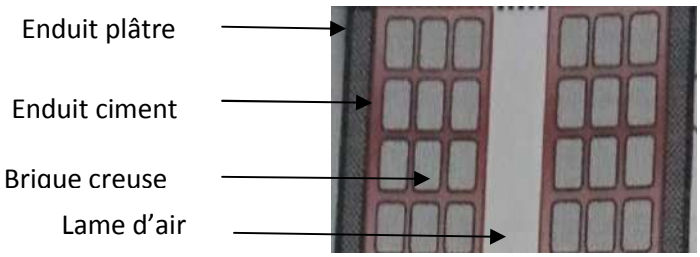


Figure I.4 : mur M.S.C en double cloison en contact avec l'extérieur

	mur double cloison	e[m]	λ[w/m.k]	Rth [m^2 k/w]	k [w/m^2k]
/	Air intérieur			0,11	1,4
1	faons	0,01	0,95	0,0105	
2	Enduit plâtre	0,005	0,35	0,014	
3	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010	
4	brique creuse	0,1	0,58	0,172	
5	Lame d'air	0,1	0,588	0,170	
6	Brique creuse	0,1	0,58	0,172	
7	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010	
	Air extérieur			0,06	

Tableau I.1:donnant le coefficient K pour mur M.S.C en double cloison en contact avec l'extérieur

I.4.2 Mur simple cloison :

Le mur simple cloison en sept couches (faons, enduit plâtre, enduit ciment, brique creuse, enduit ciment, enduit plâtre, faons.)

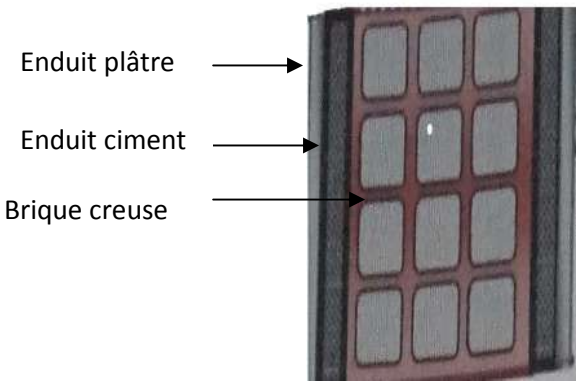


Figure I.5 : mur M.S.C en simple cloison d'épaisseur 10 cm en contact avec l'extérieur

	mur simple cloison	e[m]	λ [w/m.K]	Rth [m^2k/w]	K[w/m^2 k]
/	Air intérieur			0,11	
1	faons	0,01	0,95	0,010	
2	Enduit plâtre	0,005	0,35	0,014	
3	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010	
4	brique creuse	0,1	0,58	0,172	
5	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010	
6	Enduit plâtre	0,005	0,35	0,014	
7	faons	0,01	0,95	0,010	2,27

Tableau I.2 : donnant le coefficient K pour mur M.S.C en simple cloison de 10cm d'épaisseur en contact avec l'intérieur

I.4.3 Toiture (plafond térrace) :

Elle consistée en sept couches sont (gravillon, carte bitumé, lame de verre, dalle, hourdit, enduit ciment, enduit plâtre).

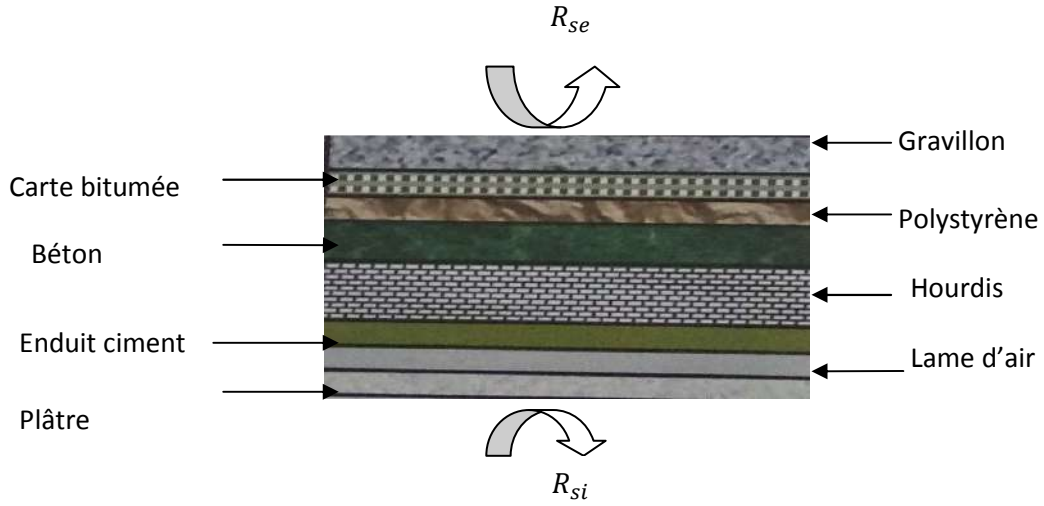


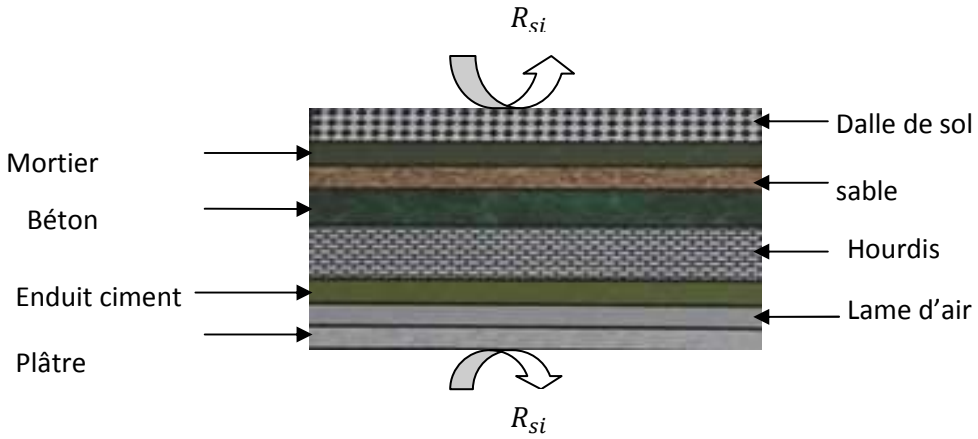
Figure I.6 : composition de terrasse [5].

	plafond terrasse	e[m]	λ[w/m.K]	Rth [m^2 k/w]	K [w/m^2 k]
/	Air intérieur			0,05	
1	gravillon	0,03	0,93	0,032	
2	carte bitumé	0,01	0,17	0,058	
3	laine de verre	0,04	0,041	0,975	0,68
4	dalle	0,08	1,75	0,045	
5	hourdit	0,15	1	0,15	
6	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010	
7	Enduit plâtre	0,02	0,35	0,057	
	local de dessous			0,09	

Tableau I.3 : donnant le coefficient K de la toiture

I.4.4 Plancher entre étage :

Elle consistée en sept couches sont (carrelage, mortier en ciment, lit de sable (terre sèche), dalle, béton plein, hourdit, enduit ciment, enduit plâtre).



FigureI.7 : composition de plancher entre étage

	plafond terrasse	e[m]	λ[w/m.K]	Rth[m^2 k/w]	K [w/m^2 k]
/	local de dessous			0,09	
1	carrelage	0,02	1,05	0,019	
2	mortier en ciment	0,02	0,87	0,022	
3	lit de sable (terre sèche)	0,02	0,58	0,034	
4	dalle (béton plein)	0,08	1,75	0,045	1,92
5	hourdit	0,15	1	0,15	
6	Enduit ciment	0,015	1,4	0,01	
7	Enduit plâtre	0,02	0,35	0,05	
	local de dessous			0,09	

Tableau I.4 : donnant le coefficient K du plancher entre étage

I.4.5 Plancher sol :

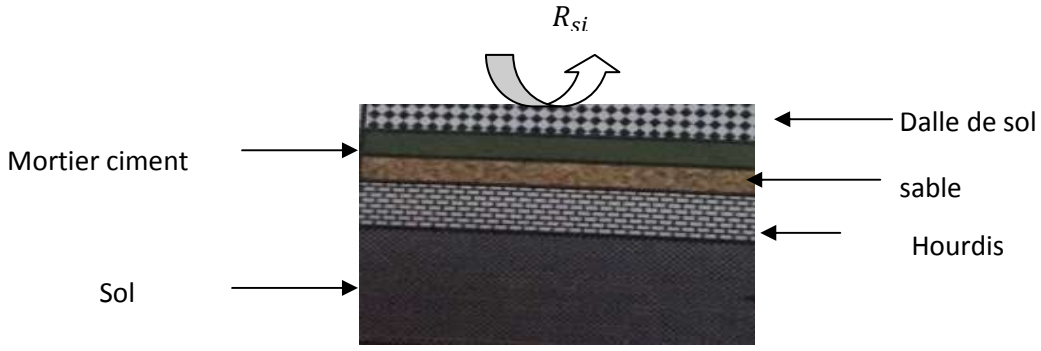


Figure I.8 : composition de plancher sol

	plafond terrasse	e[m]	λ[w/m.K]	Rth[m^2 k/w]	K [w/m^2 k]
1	biton armé+5 cm de liège	0,125	0,13	0,961	
2	lit de sable (terre sèche)	0,02	0,58	0,034	
3	mortier en ciment	0,02	0,87	0,022	
4	carrelage	0,02	1,05	0,019	
5	Air de local			0,017	0,94

Tableau I.5 : donnant le coefficient K du plancher sol

I.4.6 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en bois en contact avec l'extérieur :

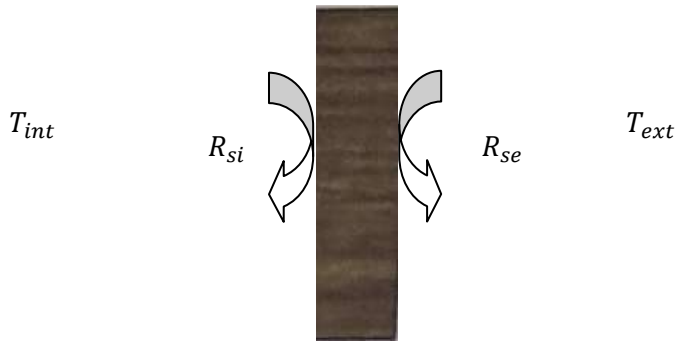


Figure I.9: composant de es portes en bois en contact avec l'extérieur

la couche	composants de la porte bois stratifié	e[m]	λ[W/m.k]	R[m^2.K/W]	1/hi+1/he [m^2.K/W]
1	bois stratifié	0,03	0.28	0,11	0,17
Le Coefficient de transmission surfacique K=1/∑R de la porte métallique en [W/m^2.K]					2.6

Tableau I.6 : donnant le coefficient K des portes en bois stratifié en contact avec l'extérieur

I.4.7 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en bois en contact avec l'intérieur:

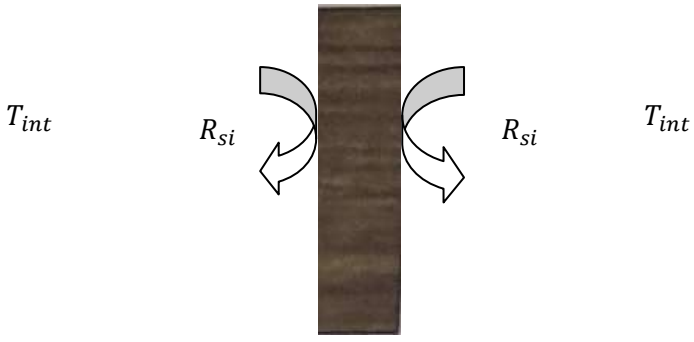


Figure I.10 : composant de es portes en bois en contact avec l'intérieur

la couche	composants de la porte métallique	e[m]	λ[W/m.k]	R[m^2.K/W]	1/hi+1/he [m^2.K/W]
1	bois stratifié	0,03	0.28	0,11	0,22
Le Coefficient de transmission surfacique K=1/∑R de la porte métallique en [W/m^2.K]					3.6

Tableau I.7 : donnant le coefficient K des portes en bois stratifié en contact avec l'intérieur

I.4.8 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en métallique en contact avec l'extérieur :

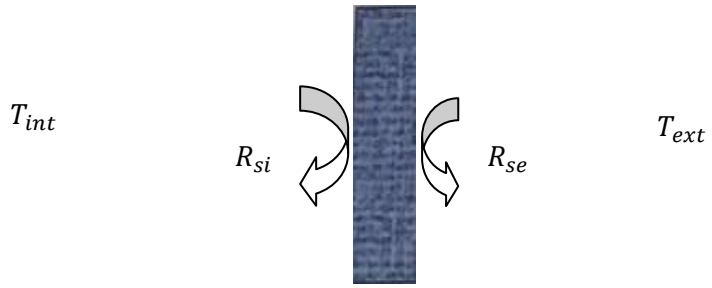


Figure I.11 : composant de es portes en métallique en contact avec l'extérieur

la couche	composants de la porte méttallique	e[m]	λ[W/m.k]	R[m^2.K/W]	1/hi+1/he [m^2.K/W]
1	métallique	0,04	2,2	0,018	0,17
Le Coefficient de transmission surfacique K=1/∑R de la porte métallique en [W/m^2.K]					5,5

Tableau I.8 : donnant le coefficient K de les portes en métalliques en contact avec l'extérieur

I.4.9 Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique «K» Pour les portes en métallique en contact avec l'intérieur :

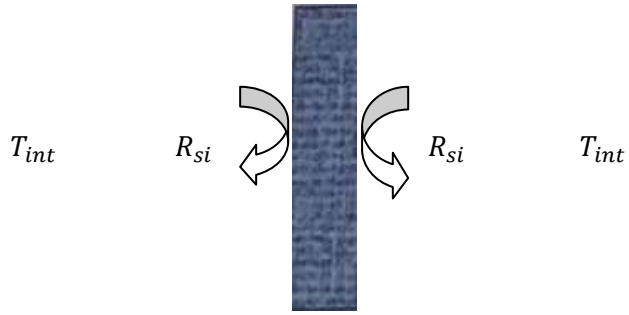


Figure I.12 : composant de es portes en métallique en contact avec l'intérieur

la couche	composants de la porte métallique	e[m]	λ[W/m.k]	R[m^2.K/W]	1/hi+1/he [m^2.K/W]
1	métallique	0,04	2,2	0,018	0,22
Le Coefficient de transmission surfacique K=1/∑R de la porte métallique en [W/m^2.K]					4.20

Tableau I.9 : donnant le coefficient K des portes en métallique en contact avec l'intérieur

I.5 Etude de condensation :

I.5.1 Définition de la condensation :

La condensation dans les parois : est une problématique complexe qui devra être étudiée avec le plus grand soin. Dans le fonctionnement normal d'une maison, l'air intérieur, chargé de vapeur d'eau va chercher à traverser le mur pour s'équilibrer avec l'air extérieur plus froid mais moins chargé en vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau contenue dans l'air risque de condenser dans le mur si certaines précautions ne sont pas prises. C'est l'objet de ce cours [6].

I.5.2 Condensation superficielle :

Ce type de condensation se produit sur la face intérieur des parois dont les températures des parois intérieur sont inferieur à celle de rosée de l'air intérieur ceci peut se produit en hiver sur les parois les locaux mal ou non chauffés et évidement sur le vitres.

La condensation superficielle se manifeste sur les surfaces des parois sous forme liquide en un film ou gouttelettes [7].

Application au projet :

Pour éviter la condensation il faut que

$$T_{pi} > T_{rai}$$

Ou :

T_{pi} (en °c) : représente la température de la paroi intérieur.

T_{rai} (en °c) : représente la température de rosée de l'air intérieur.

Et on a aussi d'après la condensation du flux :

$$Q=h_i.(T_i-T_{Pi})=K.(T_i-T_e)$$

Donc :

$$T_{Pi}= T_i- [(T_i-T_e).K/h_i]$$

I.5.3 La condensation de masse :

On dit qu'il y a une condensation dans la masse si à travers la structure de la paroi, la pression partielle de vapeur « P_V » dépasse celle de saturation « P_S ».

cette condition peut être visualisée en portant sur un même croquis les deux diagrammes de « P_V »et« P_S » c'est le « Diagramme de GLASER » .

Pour le calcul de « P_S », on utilise des tables de saturation [8] :

Ts (∘c)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ps (∘c)	612	657	705	758	813	872	934	1001	1073	1148	1227
Ts (∘c)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ps (∘c)	1312	1402	1497	1598	1704	1817	1937	2063	2197	2337	2470

Tableau I.10 : donnant les pressions de saturations de différentes températures

Pour le calcul de « P_V » , on utilise la relation suivante :

$$P_V = P_{Vext} + [(e/\lambda).(P_{Vint} - P_{Vext})/(\sum(e/\pi)]$$

Avec :

$$P_{Vint} = P_{Sint}.\ \Phi\ \text{int}$$

$$P_{Vext} = P_{Sext}.\ \Phi\ \text{ext}$$

Ou:

- π (en Kg/m.s) représente la perméabilité du matériau constituent la couches

II.1 Le principe de bilan thermique :

Les déperditions d'un local sont des quantités d'énergie thermique cédées par ce dernier d'une part à l'air extérieur par transmission à travers les parois, et de l'autre à l'air extérieur pénétrant dans le local par différentes ouvertures .pour réaliser l'équilibre thermique du local, il va donc falloir lui fournir une quantité de chaleur égale aux déperditions.
La détermination d'une installation constituée à calculer le bilan thermique de cette installation, c'est –à-dire la puissance calorifique à mettre en œuvre pour maintenir sa température stable.

II.2 Formulation mathématique :

II.2.1 Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base (méthode d'ALMO):

II.2.1.1 Expression générale des déperditions :

II.2.1.1.1 La déperdition calorifique d'un logement :

Les déperditions totales pour un logement, contenant plusieurs volumes thermique, sont donnée par :

$$Q_{dep} = Q_{tr} + Q_v \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ [W]}$$

- Q_{dep} (en W) : représente la Déperditions totales ;
- Q_{tr} (en W) : représente la Déperditions par transmission ;
- Q_v (en W) : représente la Déperditions par renouvellement d'air ;

II.2.1.1.2 La Déperditions par transmission$\boldsymbol{Q_{tr}}$:

La déperdition par transmission $\boldsymbol{Q_{tr}}$, et donnée par la relation suivante :

$$Q_{tr}=Q_0.Z\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..[W]$$

- Q_0 (en W) :représente les déperditions surfacique à travers les parties courantes des parois en contactes avec l'extérieur et l'intérieur
- Z :représente……

II.2.1.1.2.1 Calcul la déperdition surfacique par transmission à travers les parois $\boldsymbol{Q_0}$:

Les déperditions surfacique par transmission à travers les parois, pour une différence de température de(0∘c)entre les ambiances que sépare cette paroi, sont donnée par la formule :

$$Q_0=K.S.(T_i-T_e)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.. \text{ [W]}$$

Avec :

- K (en $[W/m^2.\circ c]$) :représente le coefficient de transmission surfacique ;
- S (en $[m^2]$) : représente la surface de la parois ;
- T_i (en $[\circ c]$) :représente la température intérieur de basse ;
- T_e (en $[\circ c]$) :représente la température extérieur ;

$$Z=1+Z_D+Z_H$$

Avec :

- Z_D (%) :majoration donnant dans le (Tableau II.1) ;
- Z_H (%) :majoration donnant dans le (Tableau II.2) ;

Mode d'exploitation	Coefficient D	0.1 à 0.29	0.30 à 0.69	0.70 à 1.49	1.5
I	Exploitation réduite.	7	7	7	7
II	Interruption de 9 à 12h de durée.	20	15	15	15
III	Interruption de 12 à 16h de durée.	30	25	20	15

Tableau II.2 : donnant la majoration «Z_D»

orientation	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Majoration Z_H %	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

Tableau II .2 : donnant la majoration «Z_H»

Pour choiser le Z_D (le tableau 11)en un calcul le D avec la formule suivante :

$$D=\frac{Q_0}{S_T.\Delta_T}$$

II.2.1.1.3 Calcul la Déperditions par renouvellement d'air Q_v:

La déperdition par transmission$\mathbf{Q_v}$, et donnée par l'équation suivante :

$$Q_v=(\sum a.l).R.H.(T_i-T_e).Z_e \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [W]$$

Avec :

- a :représente la perméabilite des joints (Tableau II .5);
- l (en [m]) : représente le périmètre de fenêtre ;
- R : représente le caractéristique de local (Tableau II .3) ;
- H : représente la caractéristique de maison (Tableau II.4) ;

Rapport de surface	Fenêtre en bois ou en matére synthétique		Fenêtre en acier et fenêtre métallique		Caractéristique de la maison
	Portes intérieurs		Portes intérieures		
	étanches	Non étanches	étanches	Non étanches	
$\frac{S_t}{S_p}$	< 1.5	< 3	< 2.5	< 6	R=0.9
$\frac{S_t}{S_p}$	1.5 à 3	3 à 9	2.5 à 6	6 à 20	R=0.7

Tableau II .3 : donnant la caractéristique de local «R»

Région	site	Maison d'alignement	Maison individuelle
Région normale	Site protégé.	0.24	0.34
	Site découvert.	0.41	0.58
	Site particulièrement découvert.	0.60	0.84
Région à vents forts	Site protégé.	0.41	0.58
	Site découvert	0.60	0.84
	Site exceptionellement découvert.	0.82	1.13

Tableau II.4 : donnant la caractéristique de maison «H»

Fenêtre en bois ou en matére synthétique	Fenêtre	3.0
	Fenêtres composées.	2.5
	Fenêtres double et fenetre simples avec étanchéite garantie	2
Fenêtre en acier et fenetre métallique	Fenêtre simples.	1.5
	Fenêtre composées	1.5
	Fenêtres double et fenetre simples avec étanchéite garantie	1.2
Portes intérieures	Non étanches	40
	Etanches (sans seuil).	15
Portes extérieures	Comme les fenetres	-

Tableau II .5 : donnant la perméabilité des joints «a»

II.3 Système de chauffage par plancher :

II.3.1 Présentation de système :

Le chauffage par le sol est une technologie aujourd'hui courante dans un grand nombre de nouvelles installations de chauffage. C'est une solution bien maîtrisée et très efficace pour des locaux dans les secteurs du résidentiel et du tertiaire. Mais l'attente des utilisateurs évolue à présent vers la recherche du « confort 4 saisons ».
Le plancher chauffant, ayant une température superficielle de sol supérieure à la température ambiante est **un émetteur de chaleur** [9].

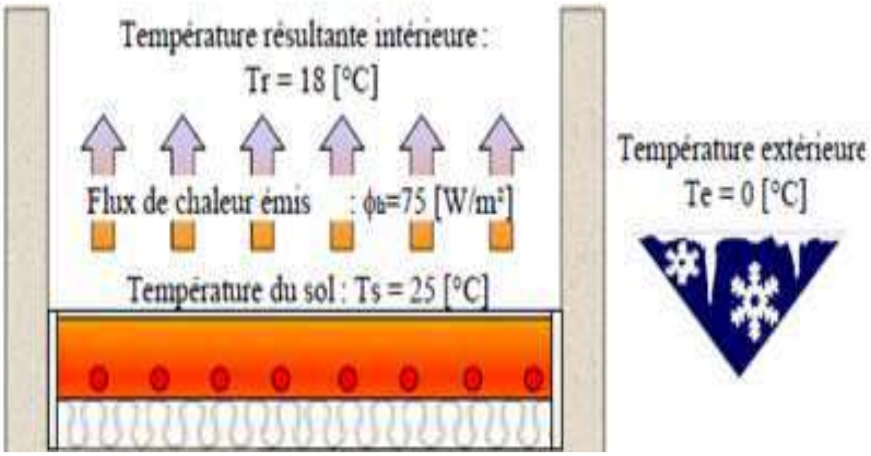


Figure II.1 : exemple de plancher chauffant [9].

II.3.2 Les composants de système:

II.3.2.1 La chaudière : il s'agit du générateur central qui produit la chaleur par transformation de l'énergie grâce à un brûleur dans le cas du gaz ou du fioul. Selon le cas, la chaudière peut être combinée à un ballon d'eau chaude (boiler), intégré ou non, en vue d'assurer la distribution de l'eau chaude sanitaire.

Ce dernier point est détaillé dans le cours relatif aux installations sanitaires [9].



Figure II.2:Représente une chaudière [9].

II.3.2.2 Le brûleur : alimenté au gaz ou au fioul est l'accessoire qui permet de chauffer l'eau à la température Requise



Figure II.3:Représente le brûleur [9].

II.3.2.3 Le vase d'expansion : a pour fonction d'absorber la dilatation de l'eau chauffée. Sur les installations avec circulateur, le vase d'expansion est fermé et contient de l'air ou du gaz séparé de l'eau par une membrane souple.



Figure II.4:Représente le vase d'expansion [9].

II.3.2.4 La soupape :

La soupape est chargée d'évacuer d'éventuelles surpressions, elle est tarée à 3 bars.



Figure: II.5 : Représente la soupape [9].

II.3.2.5 Le manomètre :

Il indique, en bars, la pression dans le circuit hydraulique, qui doit se situer, à froid, à 1 bar environ et jamais au-dessus de 2 bars.
Il est normal de constater une élévation de pression lorsque le circuit primaire est chaud.



Figure II.6:Représente le manomètre [9].

II.3.2.6 La régulation :

Indispensable au bon fonctionnement de l'installation, elle assure le confort dans l'habitat aussi bien en été qu'en hiver.

II.3.2.7 Le circuilateur :

De type « eau glacée » en rafraîchissement, il permet la circulation du liquide caloporteur entre le générateur et le plancher. Pendant les périodes d'utilisation, il fonctionne en permanence ou peut être asservi au thermostat d'ambiance.
Il est important d'éviter de disposer le circulateur au point bas de l'installation afin que les saletés s'y accumulant ne le détériorent pas.
Les éléments ci-dessus sont très souvent regroupés dans un module hydraulique.



Figure II .7 : Représente le circuilateur [9].

II.3.2.8 Le purgeur d'air :

Il faut prévoir une évacuation de l'air à chaque point haut ; deux types de purgeurs sont possibles : manuel ou automatique.

II.3.2.9 La capacité tampon :

Simple ballon de stockage, il évite le fonctionnement des générateurs de chaleur et de froid par intermittences rapprochées et améliore le rendement de l'installation et la longévité du matériel. Sa présence est fonction de la longueur des tubes et de la puissance frigorifique de la PAC .

II.3.2.10 Les collecteurs :

Communément appelés les collecteurs, il faut faire la distinction entre le **distributeur** et le **collecteur. Le distributeur** est placé en amont du plancher. Sa fonction est de répartir l'eau en provenance du générateur dans les différentes boucles de tube noyé dans la dalle d'enrobage de chaque pièce.
Le collecteur, placé en aval du plancher, sert à recueillir l'eau en provenance des différents circuits pour la réinjecter dans le générateur.
Ils sont équipés de vannes d'arrêt et d'organes d'équilibrage.



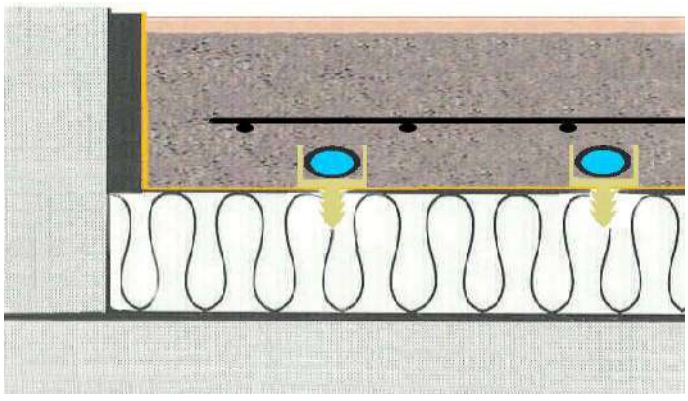
Figure II.8: Représente le collecteur [10].

II.3.2.11 L'antigel :

Comme pour tous les circuits de fluide comportant des passages en plein air, il faut prévoir une protection contre le gel, pour éviter de faire éclater les conduites en hiver.
La sensibilité au gel est accrue pendant les périodes d'inoccupation des lieux. Une solution pratique pour éviter le gel est de mettre de l'antigel dans le circuit. Il est important que l'installateur s'assure que sa concentration est suffisante pour assurer la protection de l'installation contre les plus basses températures de la région.

II.3.3 LE PLANCHER :

II.3.3.1 Composition du plancher réversible :



① Dalle porteuse
② Isolant horizontal
③ Film de protection
④ Elément de fixation
⑤ Tube PER
⑥ Treillis soudé
⑦ Isolant périphérique
⑧ Dalle d'enrobage
⑨ Revêtement

Figure II .9 : composition du plancher réversible [9].

II.3.3.1.1 Les isolants :

Trois matériaux sont généralement utilisés :

- ❖ Polystyrène expansé ;
- ❖ Polystyrène extrudé ;
- ❖ mousse de Polyuréthanne.

La plupart des fabricants proposent le polystyrène expansé même si la mousse de polyuréthanne a une conductivité thermique inférieure (0,025 [W/m.K] pour la mousse de Polyuréthanne et 0,04 [W/m.K] pour le polystyrène expansé).
Les isolants thermiques utilisés en une seule couche doivent avoir une classe de compressibilité I ou II et doivent aussi répondre à des exigences thermiques [10].

II.3.3.1.2 Mode de fixation des tubes :

Quatre modes de fixation principaux existent :

- ➢ Sur treillis métallique : le treillis métallique est posé sur les plaques d'isolant et des colliers permettent de positionner les tubes ;
- ➢ Colliers sur plaque isolante plane : les colliers sont fixés directement sur la plaque d'isolant et permettent de positionner les tubes ;
- ➢ Plaque isolante à plots : des plots à intervalle régulier permettent de positionner les tubes suivant le schéma désiré ;
- ➢ Sur rail à clips : disposé sur l'isolation thermique, sa conformation permet un espacement minimum entre les tubes de 5 cm.

II.3.3.1.3 Les tubes :

La plupart des tubes sont fabriqués en polyéthylène réticulé (PER). D'autres matériaux tels que le polybutène, le polypropylène ou le cuivre sont aussi parfois mis en œuvre.
Les tubes en matériaux de synthèse sont plus utilisés que les tubes en cuivre car ils sont plus faciles à mettre en œuvre.
Parmi les tubes en matériau de synthèse, le polyéthylène réticulé est le plus courant car il confère une flexibilité supérieure à celle des autres matériaux.
Les tubes en matériaux de synthèse doivent être bénéficiaires d'un avis technique favorable délivré par le CSTB*.
Les circuits de tube ne doivent jamais véhiculer une eau de plus de 50°C en régime courant.



Figure II.10 : Représente les tubes de PER [11].

II.3.3.1.4 La dalle d'enrobage :

Elle est constituée de béton et d'adjuvant. Cet adjuvant fluidifiant améliore l'enrobage des tubes et augmente la résistance mécanique de la dalle.

II.3.3.1.5 Treillis anti-retrait :

Il est destiné à éviter la formation des fissures provoquées par le retrait du béton pendant sa prise et son durcissement.

II.3.3.1.6 L'isolant périphérique :

Il permet de désolidariser la dalle flottante des structures verticales du bâtiment et de limiter les déperditions par les bords.

II.3.3.1.7 Le revêtement :

En France, des prescriptions techniques recommandent des niveaux de résistance thermique pour le revêtement inférieure à 0,09 m².K / W.

II.3.3.1.8 Peuvent être utilisés :

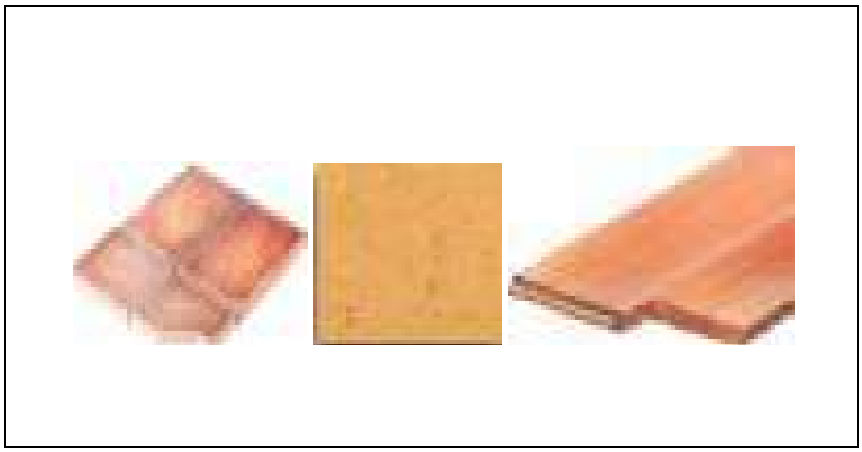


Figure II.11 : Représente les carreaux céramiques, dalles de pierre non sensible à la présence d'humidité, éléments de granit [9].

Les carreaux céramiques, dalles de pierre non sensibles à la présence d'humidité, éléments de granit, revêtements plastiques titulaires de la marque NF-UPEC et parquets massifs à coller constitués d'essence de bois exotiques (teck, iroko…) ou d'essences indigènes purgées d'aubier (Chêne, Châtaignier, Robinier).

II.3.4 Régulation du système :

La régulation est un procédé au cours duquel la grandeur est mesurée en permanence et comparée à une grandeur de référence.les variations de la grandeur réglée provoquées par des grandeurs perturbatrices venant de l'extérieur sont ainsi compensées en permanence.

La réalisation d'une régulation se fait donc :

- En mesurant la valeur réelle de la grandeur physique à régler.
- En la comparant avec le point de consigne.
- En agissant sur la grandeur de réglage (température ou débit d'un fluide), pour réduire l'écart constaté.

II.3.4.1 Boucle de régulation :

Boucle de régulation comprend :

Un organe de détection de la grandeur à régler.

Un régulateur qui compare la valeur instantanée de la grandeur à régler avec la valeur de consigne de cette grandeur .en cas d'écart de régler constaté, élabore sur certaines bases de calculs une certaine grandeur de réglage.

Un organe de réglage : que peut être une vanne ou un registre, ces derniers sont pilotés par un actionneur tel que servomoteur qui reçoit la grandeur de réglage du régulateur [11].

II.3.4.2 Appareils de régulation utilisés dans le système de chauffage :

II.3.4.2.1 Thermostat : c'est un organe de détection de température monté avec régulateur dans la même unité



Figure II.12 : Représente le thermostat ambiant [12].

II.3.4.2.2 Sonde : c'est un organe de détection de température dans la régulateur électronique.



Figure II.13 : Représente la sonde [12]

II.3.4.2.3 Vanne :c'est un organe de réglage qui permet de régler un débit volume de fluide liquide,la vanne à trois voies est la plus utilisé dans l'installation de chauffage et on a deux types de vanne à trois vois :

A-vanne à trois vois mélangeuse :elle a deux entrées et une sortie.

B-vanne à trois diviseuse ou réparation : elle a une entrée et deux sorties.



Figure II.10 : Représente la vanne à trois vois mélangeuse destiné pour le gros débile [7].

II.3.5 Choix du mode de régulation :

Parmi les modes de régulation, il existe :

II.3.5.1 La régulation individuelle : par action direct sur le corps de chauffe, elle peut être :

II.3.5.1.1 Manuelle : en faisant varier les débits d'eau entrants dans l'appareil manuellement à l'aide d'un robinet d'arrêt. Ici, l'homme joue le rôle de détecteur et de régulateur.

II.3.5.1.2 Automatique : ou l'appareil est muni d'un robinet thermostatique lacé à son entrée qui fait varier l'alimentation en eau chaude en fonction de la température de consigne voulue.

L'avantage de ce système est de contrôler chaque appareil séparément.

II.3.5.2 La régulation d'ensemble : ce type de régulation existe généralement dans la chaufferie. C'est un mode de régulation agissent sur l'ensemble de la chaleur totale fournie et cela en fonction des paramètres climatique extérieurs qui agissent sur l'ensemble à chauffer.

II.4 Dimensionnement

II.4.1 Caractéristiques.

Il suffit de prendre à contre-pied les erreurs de conception faites dans les années 1960 pour définir les principales caractéristiques des nouveaux planchers chauffants basse température (PCBT).

- **température de départ de l'eau :** 50°C maxi [13], ce qui donne une température moyenne, avec une chute de 10°C, de 45°C. Afin de ne pas risquer de dépasser la température superficielle du sol, fixé par décret à 28°C, les températures moyennes généralement utilisées sont : 35, 40 et 45°C ce qui permet aussi d'abaisser le coût d'exploitation. Ces températures ne sont pas des obligations, il est tout à fait possible de baser une étude sur une température de départ de 36°C (généralement on ne descend pas en dessous 35°C) et d'adopter une chute de 8°C ceci donne alors une température moyenne de 32°C. Il faut savoir qu'en moyenne la température de la peau chez l'homme est d'environ 31°C il est donc difficile, par simple contact, de détecter la présence d'un sol chauffant, on peut tout au plus constater que le sol n'est pas relativement froid.
- **une boucle minimum par pièce**, ce qui permet d'avoir une indépendance et donc une possibilité d'adapter chaque pièce au confort souhaité. Dans la mesure du possible il faut essayer de ne pas avoir de boucle commune à plusieurs pièces car sinon il y a interdépendance, ce qui génère des problèmes d'équilibrage pour obtenir la température d'équilibre thermique.
- La plus grande partie des émissions se font par le sol car la pose d'un isolant sous les tubes est systématique ce qui évite l'interdépendance verticale. Plus l'isolant est épais, plus les émissions hautes seront élevées et donc, plus les émissions basses seront faibles.
- la surface du plancher chauffant couvre toute la surface de la pièce (hormis les emprises éventuelles) ce qui permet d'abaisser la température de l'eau ou d'espacer plus les tubes (surface d'échange plus grande). Avec un pas

(VZ) maxi de 35 cm [13], (en règle générale, un VZ30 est le maximum utilisé) l'homogénéité de la température du sol est assurée.

- Inertie thermique ("temps de réponse thermique", pour plus d'exactitude) relativement plus faible du fait de la faible épaisseur (de 6 à 8 cm en règle générale) de la dalle chauffante (chape) bien isolée en sous face.
- Tubes en matériau de synthèse plus facile à manœuvrer que les tubes en acier. Fournis en couronnes de différentes longueurs pour une plus grande commodité, ils évitent les raccordements dans le sol contrairement aux soudures qui étaient faite sur le tube acier.

Système défini par le fabricant

- ✓ Choix du revêtement de sol (client)
- ✓ Choix du pas du tube (entraxe)
- ✓ Choix de la température de l'eau

Deux types de zones

Zone de séjour

- ➢ Conçue pour un confort « norme »

Zone périphérique

- ➢ Conçue pour une température de surface plus élevée
- ➢ Largeur max. de 1 m le long des parois extérieures
- ➢ Permet de gagner de la puissance

Critère de confort

Température de confort des locaux

- ✓ Comme pour les radiateurs
- ✓ Voir NBN EN 12831 ANB

Température superficielle de la dalle

- ✓ Zone de séjour Delta T max. 9K
- ✓ Zone périphérique Delta T max. 15K
- ✓ Zone périphérique T max. 35◦c
- ✓ Revêtement en bois T max. 29◦c [14].

II.4.2 Emission de chaleur théorique

Emission surfacique W/m^2

Différence de température moyenne entre la température de surface et la température ambiante

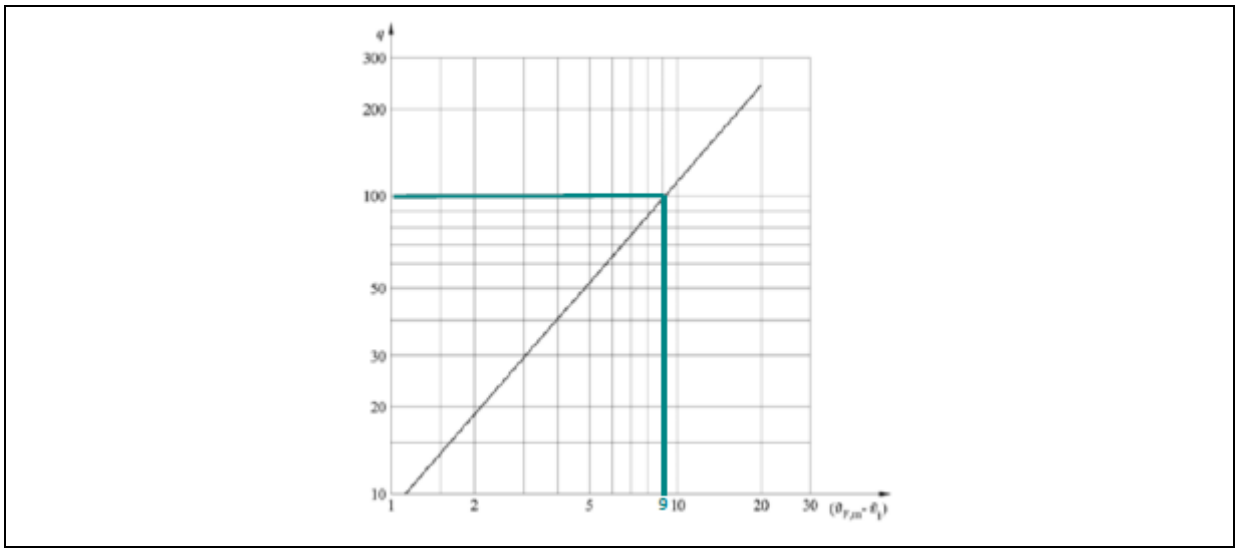


Figure II.11: représente de la Différence de température moyenne entre la température de surface et la température ambiante

II.4.3 Emission de chaleur réelle :

La température de surface n'est pas homogène

- ✓ Espacement du tube
- ✓ Refroidissement de l'eau dans le tube

Le fabricant doit calculer ou mesurer la puissance de son système

- ✓ En fonction du pas du tube
- ✓ En fonction du revêtement de sol
- ✓ En fonction de la température de l'eau

II.4.4 Emission surfacique q_{des} (W/m^2)

La déperdition thermique divisée par la surface de plancher chauffant A_F

$$q_{des}=\frac{Q_{dep}}{A_F}\text{..... [W/}m^2\text{]}$$

II.4.5 Choix du système de chauffage :

Sélection sur base de la valeur d'émission thermique surfacique la plus élevée

- ✓ Salles de bain exceptées
- ✓ La valeur maximale d'émission thermique surfacique est notée q_{max}

En règle générale, on suppose un revêtement de sol $R_{\lambda,B}$=0.10 (m^2.K)/W

Permet une certaine réserve si le client ajoute du parquet ou de la moquette d'épaisseur raisonnable par exemple

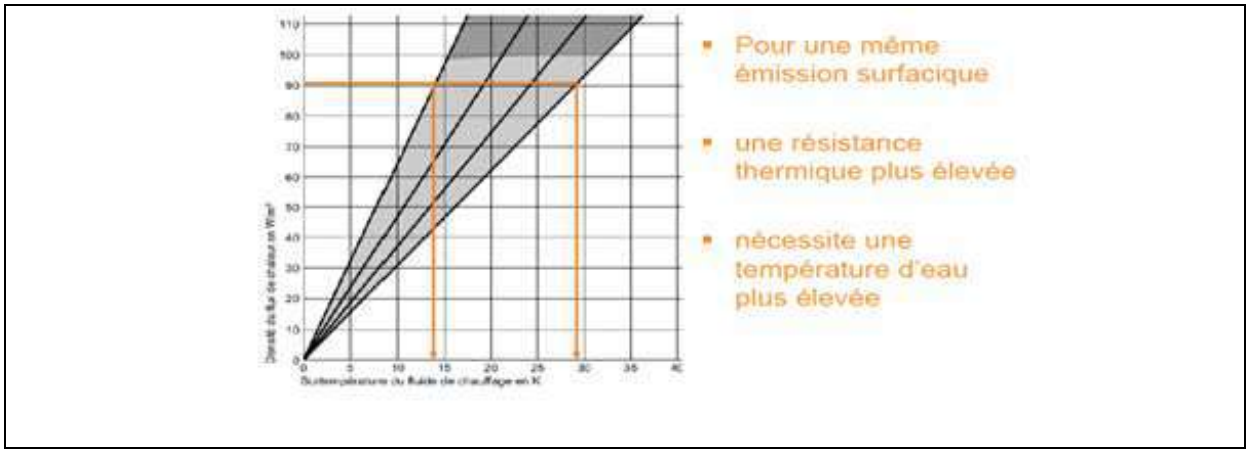


Figure II.12: représente l'influence de la résistance thermique du revêtement de sol $R_{\lambda,B}$

II.4.6 Choix du pas :

Varie généralement entre 5 et 20 cm

Petit pas

- émission thermique plus élevée
- température d'eau plus faible
- longueur de tube plus élevée

Grand pas

- émission thermique plus faible
- température d'eau plus élevée
- longueur de tube plus faible

II.4.7 Température de départ de l'eau :

II.4.7.1 Première étape

✓ température moyenne de l'eau pour la valeur maximale d'émission thermique surfacique q_{max}

✓ voir courbe caractéristique

II.4.7.2 deuxième étape

fixer la valeur de la chute de température entre le départ et le retour (σ)

bonne pratique : 5K

calculer la température de départ

température moyenne +σ/2

en réalité on ne travaille pas avec une différence température moyenne arithmétique

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{2} - \theta_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

mais avec une différence logarithmique

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln\frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

La formule complète est :

$$\theta_{V,des} = \frac{\theta_i - (\sigma + \theta_i).\exp\left(\frac{\sigma}{\Delta\theta_{H,des}}\right)}{1 - \exp\left(\frac{\sigma}{\Delta\theta_{H,des}}\right)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

Si0.5,on peut utiliser l'expression simplifiée suivante :

$$\theta_{V,des} = \Delta\theta_{H,des} + \theta_i + \frac{\sigma}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

La température maximale est fixer par la courbe limite (voir graphique suivant)

- en Belgique, la bonne pratique veut qu'on ne dépasse pas 45∘c
- selon NBN EN 1264-4
  - 55∘c dans le cas d'une chape à base de ciment ou d'anhydrite (sulfate de calcium)
  - 45∘c dans le cas d'une dalle d'asphalte

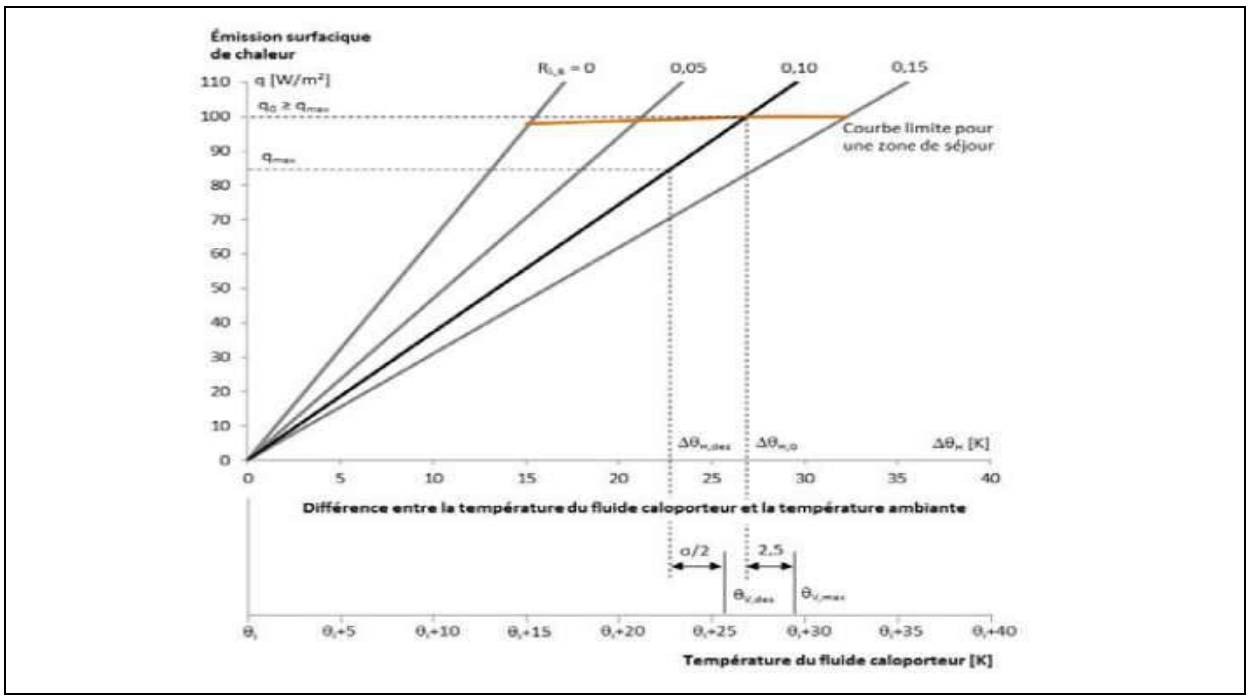


Figure II.13 : représente l'émission surfacique par la température du fluide caloporteur

C'est la température de départ moins la chute de température

$$\theta_{R,des} = \theta_{V,des} - \sigma \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

II.4.7.3 En pratique

Si on fixe la valeur de σ à 5K et si $\Delta\theta_{H,des}$ est supérieur à 10∘c (soit donc la majorité des cas)

$$\theta_{V,des} = \Delta\theta_{H,des} + \theta_i + 2.5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

$$\theta_{R,des} = \Delta\theta_{H,des} + \theta_i - 2.5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

Pour des raisons pratiques il convient d'arrondir la température de départ

- ✓ 43.7∘c ⟶ 44∘c

Et donc recalculer

- ✓ La température de retour
  - Voir formule complète comme pour les autres circuits
- ✓ La chute de température
  Température de départ identique à celle de la zone avec q_{max}
- ✓ L'eau sort du même générateur de chaleur (ou de la même vanne mélangeuse)
- ✓ Dans des grands ensembles on pourrait considérer des groupes de boucles avec des températures de départ différentes
  Pour les autres zones
  On garde le même système de chauffage mais on peut changer le pas du tube étant donné $q_j < q_{max}$
  - Soit on garde le même pas et la chute de température est plus élevée
  - Si la chute est fort élevée on peut choisir un pas plus grand

On détermine la température moyenne de l'eau sur la courbe caractéristique

Calcul de la température de retour

$$\theta_{R,j} = \theta_j + \left(2.\Delta\theta_{H,j}{}^{1/3} + (\theta_{V,des} - \theta_j)^{1/3}\right)^3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

Calcul de la chute de température

$$\sigma = \theta_{V,des} - \theta_{R,j}$$

Pou les salles de bain

Si $q_j < q_{max}$

- Ou pour les zones avec une température ambiante plus élevée que la zone avec q_{max}
- Soit on garde le même pas et la chute de température est plus faible
- Si la chute est fort faible on peut choisir un pas plus petit
- Si on n'a pas assez de puissance

- Prévoir un radiateur en complément

II.4.8 Longueur des boucles :

Surface chauffante divisée par le pas du tube longueur du tube vers le collecteur

$$L_R = \frac{A}{T} + L_0 \text{.....[m].}$$

II.4.9 Zone périphérique

Si l'émission thermique surfacique de calcul est supérieure à la valeur de la courbe limite du système de chauffage par le sol pour une zone de séjour q_G

- Prévoir une zone périphérique
- Prévoir des corps de chauffe supplémentaires

II.4.10 Répartition des zones

II.4.10.1 Zone périphérique

- Surface d'une largeur maximale de 1 mètre le long des parois extérieures
- Calcul de la surface $A_R$sur cette base
- Pas plus faible que celui de la zone de séjour

II.4.10.2 Surface de la zone de séjour

$$A_A = A_F - A_R \text{ ……..[m].}$$

Répartition de l'émission thermique entre la zone périphérique (R) et la zone de séjour (A)

$$A_R q_R + A_A q_A \ \geq \ A_F q_{des}$$

Puisque la zone de séjour seule ne suffit pas, on va la dimensionner pour son maximum (q_G)

- Sans dépasser la température limite de l'eau

$$q_R \geq \frac{A_F q_{des} - A_A q_G}{A_R}$$

II.4.11 Emission de la zone périphérique

II.4.11.1 Emission limitée par

- La température de l'eau
- La résistance thermique du revêtement de sol

En pratique, il semble peu plausible d'arriver à l'émission maximale de 175 W/m^2

II.4.11.2 Emission surfacique vers le bas :

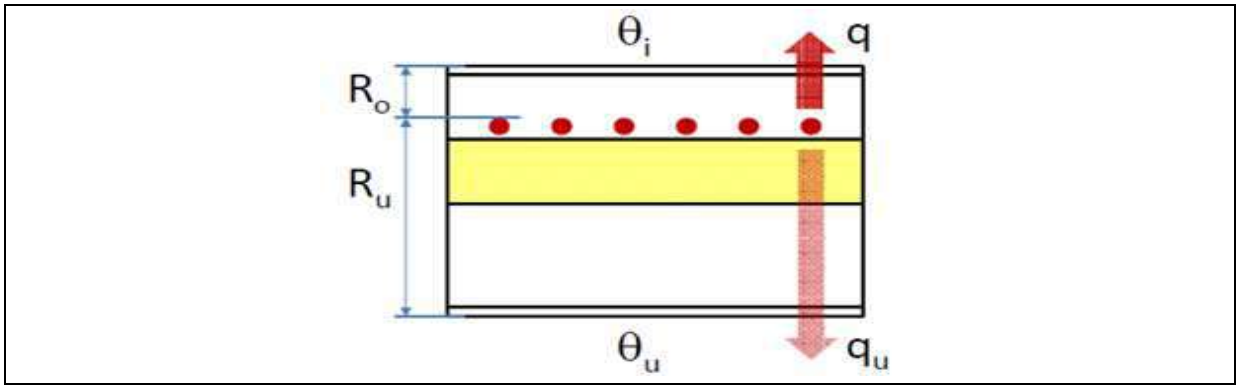


Figure II.14 : représente l'émission surfacique vers le bas

Permet de compléter le calcul de la charge thermique pour le dimensionnement du générateur de chaleur

Les tubes d'eau chaude sont situés dans le complexe plancher

- Le calcul habituel selon NBN EN 12831 n'est pas applicable

$$q_u = \frac{1}{R_u}(R_0.q + \theta_i - \theta_u) \quad \text{.....[W/}m^2\text{] .}$$

Avec :

- q_u : L'émission surfacique vers le bas [W/m^2] ;
- q: l'émission surfacique du système de chauffage par le sol (vers le haut) [W/m^2] ;
- R_0 : la résistance thermique partielle haute d'un plancher chauffant [$m^2.K/W$] ;
- R_u : la résistance thermique partielle basse d'un plancher chauffant [$m^2.K/W$] ;
- θ_i :La température ambiante nominale [∘c] ;
- θ_u: La température ambiante sous la pièce chauffée par le sol [∘c] ;

II.4.11.2.1 Résistance thermique du plancher :

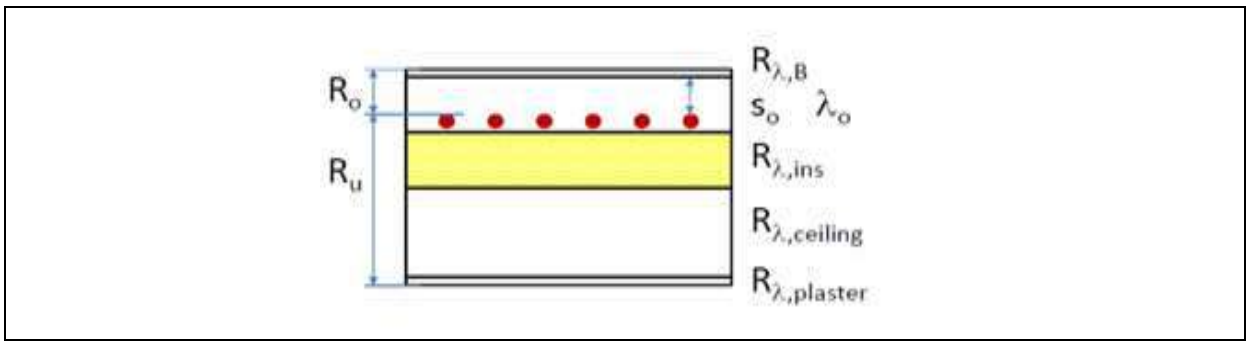


Figure II.14 : représente la résistance thermique du plancher

$$R_0 = 0.0093 + R_{\lambda,B} + \frac{S_0}{\lambda_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [m^2.K/W].$$

$$R_u = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,ceiling} + R_{\lambda,plaster} + 0.17 \ldots\ldots\ldots\ldots [m^2.K/W].$$

Avec :

- $1/\alpha$ =la résistance d'échange thermique au niveau de la surface du sol chauffant ;=0.0093 $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,B}$ =la résistance thermique du revêtement de sol $[m^2.K/W]$
- S_0 = l'épaisseur de la couche (dalle, parquet) située au-dessus du tube [m]
- λ_0 =la conductivité thermique de la couche (dalle, parquet) située au-dessus du tube [W/ (m.K)]
- $R_{\lambda,ins}$= la résistance thermique de l'isolant thermique $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,ceiling}$= la résistance thermique de la structure du plafond situé sous la couche d'isolation $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,plaster}$= la résistance thermique du plâtre (enduit) $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,ceiling}$=la résistance d'échange thermique au niveau du plafond se trouvant en dessous de la pièce chauffée par le sol=0.17 $[m^2.K/W]$

II.4.12 Détermination du débit d'eau :

Puissance thermique totale d'un système de chauffage par le sol

- Emission surfacique haute q
- Emission surfacique basse q_u
- Débit d'eau m_H d'une boucle de chauffage

$$m_H = \frac{A_F}{\sigma * C_w}(q + q_u) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [kg/s] .$$

Avec :

- m_H = le débit d'eau[kg/s] ;
- A_F =la surface de la zone de chauffage(surface de plancher chauffant)[m^2] ;
- C_w =la capacité thermique de l'eau=4190[j/(kg.K)] ;
- q =l'émission surfacique du système de chauffage par le sol[W/m^2] ;
- q_u =l'émissioon surfacique vers le bas[W/m^2] ;
- σ =la chute de température du fluide caloporteur [K] ;

III.1 Méthode de travail :

Durant notre projet on va suivre les étapes suivantes :

- Calcul des déperditions thermiques dans l'ensemble des locaux de mosquée ; on à utilisé la méthode d'ALMO.
- Dimensionnement, choix et positionnement des corps de chauffe pour l'installation.
- Choix de la chaudière à installer.
- Choix des équipements et accessoires de régulation.

III.2 Présentation du projet :

Le thème de projet consiste en l'étude et en la conception d'une installation de chauffage planché d'une mosquée.

Cette dernière est constituée d'une mosquée, et d'un logement dont la façade principale est orientée vers l'ouest.

- La mosquée comporte : salle de prière d'homme, salle de prière femme et salle d'imam
- Le logement est composé de : 2 chambre, hall et séjour

III.2.1 Le but du projet :

Le présent projet à pour but d'étudier l'installation de chauffage par plancher d'une mosquée et logement.

Pour cela on fait définir les déperditions calorifiques à compenser en l'hiver, à travers chaque local de notre mosquée et logement pour obtention le confort thermique et la stabiliser a une valeur fixé.

Cette étude doit être en fonction des conditions climatique de la région tout en respectant les basses d'aménagement défini dans les plans d'architecteurs.

III.2.2 Situation géographiques :

III.2.2.1 Géographique et climat de la ville de Médéa

Médéa a des frontières communes avec d'importantes willayas d'Alger .au nord, avec la willaya de Blida, au sud, la willaya de Djelfa, à l'est, la willaya de Msila et bouira et à l'ouest, la willaya de Ain défila et tessemsilt.

Le climat de Médéa se distingue par des caractéristiques dues à de nombreux facteurs qui sont entre autres :

- Son altitude qui atteint 1240m au dessus du niveau de la mer
- Son position sur les montagnes l'Atlas tellien.
- Son exposition aux vents et aux vagues de courants venant de l'ouest.

Tous ces facteurs ont fait que Médéa dispose d'un climat méditerranéen, semi-continental,

- Froid et humide en hiver,

- Tempéré au printemps
- Chaud et sec en été
- La température moyenne mesurée de 0◦c en hiver et 37◦c en été avec pluviométrie annuelle de 850 mm

III.2.2.2 Situation géographique du local :

- ✓ Localité : mosquée et logement se situé à Ain Boucif willaya de Médéa.
- ✓ Orientation : façade principale ouest.
- ✓ Latitude : 36.27◦N.

Zone climatique	latitude	Longitude	Altitude
B	(m)	(e)	
	36.27◦N	2.75◦N	1240

Tableau III.1 : conditions extérieures (données géographique)

III.2.2.3 Plan d'architecture du projet :

III.2.2.3.1 Plan de mosquée :

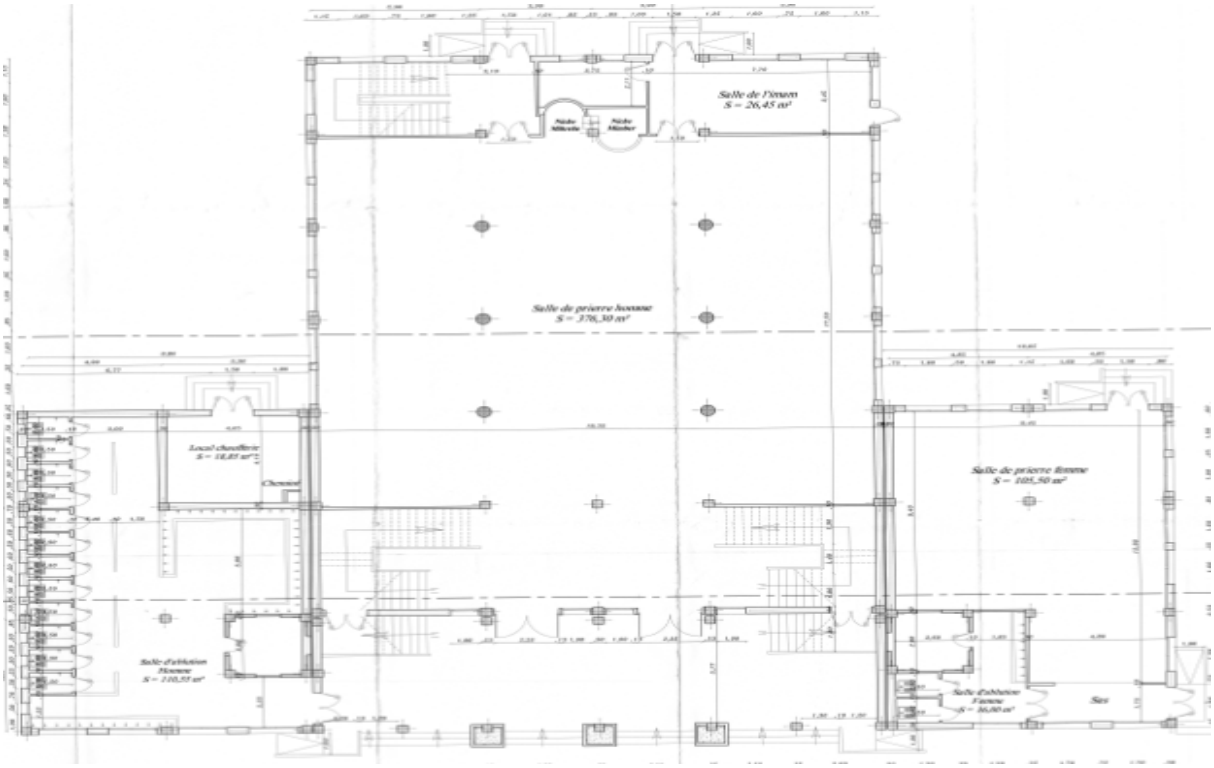


Figure III.1 : plan de mosquée

III.2.2.3.2 Plan de logement :

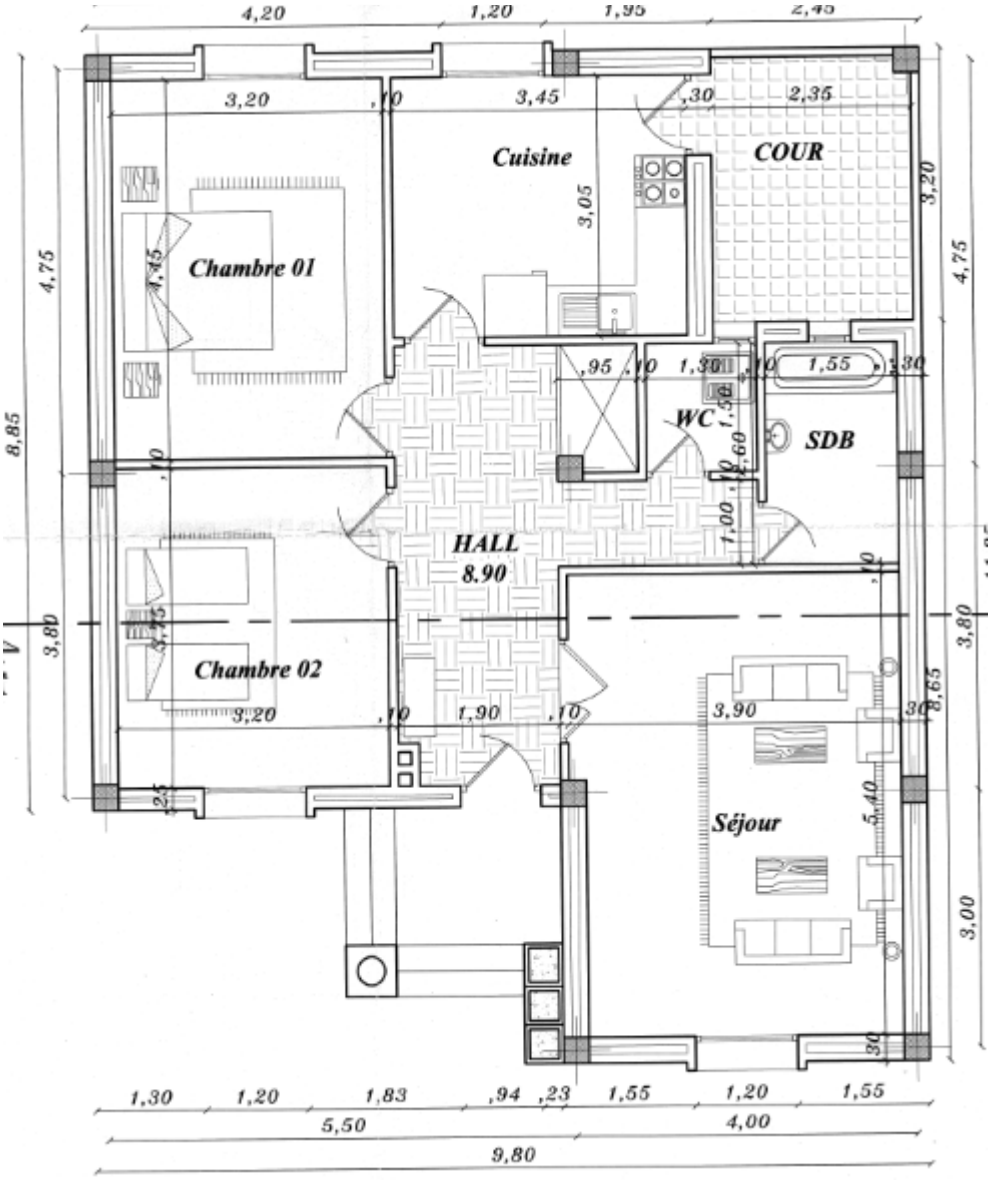


Figure III.2 : plan de logement

III.3 Détermination des déperditions thermique dans l'ensemble des locaux de mosquée (méthode d'ALMO) :

III.3.1 Exemple de calcul des déperditions thermiques (celles de la salle de prière d'homme) :

La température intérieur T_{int}=20∘c.

Les déperditions totales pour un logement, contenant plusieurs volumes thermique, sont donnée par :

$$Q_{dep} = Q_{tr} + Q_v \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ [W]}$$

Les déperditions par transmission :

La déperdition par transmission $\boldsymbol{Q_{tr}}$, et donnée par la relation suivante :

$$Q_{tr}=Q_0.Z\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ [W]}$$

III.3.1.1 Calcul la déperdition surfacique par transmission à travers les parois $\boldsymbol{Q_0}$:

Les déperditions surfacique par transmission à travers les parois, pour une différence de température de(0∘c)entre les ambiances que sépare cette paroi, sont donnée par la formule :

$$Q_0=\text{K.S.}(T_i\text{-}T_e)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ [W]}$$

Avec :

- K [W/m^2 K] : représente le coefficient de transmission surfacique.
- S [m^2] : représente la surface de la parois.
- T_i [∘C] : représente la température intérieur de basse.
- T_e [∘C] : représente la température extérieur.

Les valeur ecrit dans le tableau suivante :

salle de prière homme				
	K[W/m^2 K]	**S [m^2]**	**ΔT [∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	50,8	20	1422,4
Mur ext 02	1,4	50,8	20	2008,02
Mur int 01	2,27	77,4	6	1054,188
Mur int 02	2,27	74,5	0	0
Plancher	1,92	338,625	20	13003,2
Sol	0,83	338,625	20	5621,175
Porte ext	2,6	11,25	20	585
Fenêtre	2	38,4	20	1536
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				25229,983

Tableau III.2 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle prière d'homme

- **Les déperditions surfacique de les autres locaux :**

Salle prière de femme				
	K [W/m^2 K]	**S[m^2]**	**ΔT [∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	37,6	20	1052,8
Mur ext 02	1,4	25	20	700
Mur ext 03	1,45	35,6	20	1032,4
Mur int 01	2,27	18,2	6	247,884
Mur int 02	2,27	12,4	6	168,888
Mur int 03	2,27	7,48	6	101,8776
Plancher	1,92	104,75	20	4022,4
Sol	0,83	104,75	20	1738,85
Porte ext	2,6	3,75	6	58,5
Fonètre	2	25,6	20	1024
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**10147,5996**

Tableau III.3 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle prière femme

Salle d'imam				
	K[W/m^2 K]	**S[m^2]**	**ΔT [∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	20,65	20	578,2
Mur ext 02	1,4	8,725	20	244,3
Mur int 01	2,27	27,05	0	0
Mur int 02	2,27	11,925	6	162,4185
Plancher	1,92	26,565	20	1020,096
Sol	0,83	26,565	20	440,979
Porte ext	2,6	5,625	20	292,5
Porte int	3,6	3,75	0	0
Fonètre	2	9,6	20	384
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**3122,4935**

Tableau III.4 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la salle d'imam

- **Les déperditions surfacique de Logement :**

chambre 01				
	K [W/m^2 K]	**S [m^2]**	**ΔT[∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	10,08	20	282,24
Mur ext 02	1,4	16,02	20	448,56
Mur int 01	2,27	11,52	0	0
Mur int 02	2,27	13,42	0	0
Plancher	1,92	14,24	20	546,816
Sol	0,83	14,24	20	236,384
Porte int	2,6	2,6	0	0
Fenêtre	2	1,44	20	57,6
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**1571,6**

Tableau III.5 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la chambre 01

chambre 02				
	K [W/m^2 K]	**S [m^2]**	**ΔT[∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	13,5	20	378
Mur ext 02	1,4	10,08	20	282,24
Mur int 01	2,27	12,8	0	0
Mur int 02	2,27	12,4	0	0
Plancher	1,92	12	20	460,8
Sol	0,83	12	20	199,2
Porte int	2,6	2,6	0	0
Fenêtre	2	1,44	20	57,6
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**1377,84**

Tableau III.6 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de la chambre 02

séjour				
	K [W/m^2 K]	**S [m^2]**	**ΔT [∘C]**	**Q0 [W]**
Mur ext 01	1,4	19,44	20	544,32
Mur ext 02	1,4	12,6	20	352,8
Mur ext 03	1,4	10,8	20	302,4
Mur int 01	2,27	14,04	0	0
Mur int 02	2,27	7	0	0
Plancher	1,92	21,06	20	808,704
Sol	0,83	21,06	20	349,596
Porte ext	2,6	2,6	0	0
Fenêtre	2	1,44	20	57,6
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**2415,42**

Tableau III.7 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de séjour

hall				
	K [W/m^2 K]	**S [m^2]**	**ΔT [∘C]**	**Q0 [W]**
Plancher	1,92	12,515	20	480,576
Sol	0,83	12,515	20	207,749
Porte ext	2,6	2,6	20	135,2
La somme de la déperdition surfacique∑ **Q0**				**823,525**

Tableau III.8 : donnant les valeurs de la déperdition surfacique Q0de hall

La suite de calcul : Z=1+Z_D+Z_H

Avec :

Z_H=0% (mur oirenté vers le ouest le Tableau II.1)

on calcul le coefficient D avec les formule suivantes pour choisir $Z_D$qui existe dans (le Tableau II.2)

$$D=\frac{Q_0}{S_T.\Delta_T}$$

A.N :

$$D=\frac{25229.983}{407.88\times21}$$

D=1.37 (Dϵ[0.07 ;1.49] mode I exploitation réduite

Z_D =7 (le Tableau II.1)

Donc :

Z=1.07

D'abord après on calcul le Z :

$\boldsymbol{Q_{tr}}$**=26996.0818W**

2 éme étape on calcul la Déperditions par renouvellement d'air Q_v avec la relation suivante :

Q_v=(∑a.l).R.H.(t_i -t_e). Z_e

H=0.41 (site de protégé Tableau II.4).

R=$\frac{S_{ouvext}}{S_{ouvint}}$

R=$\frac{(1.5\times2.5)+(1.6\times2\times8)}{(4.825-1.87)\times5}$

R=0.7 (Tableau II .3 : donnant la caractéristique de local «R»)

L=(1.6+2)×2 ⟹ l=7.2m

et :

a=1.5 ((fenetre simple) Tableau II .5 : donnant la perméabilité des joints «a»

donc : Q_v=7.2×1.5×0.7×0.41×21×1

$\boldsymbol{Q_v}$**=41.328W**

Donc :

Q_{dep}=26996.0818+41.328

enfin les déperditions totales de cette salle $\boldsymbol{Q_{dep}}$**=27037.4098W**

les valeur de la déperditions calorifique de locaux résume dans le tableaux suivante :

	Q0 [W]	Z	QTR [W]	QV [W]	Qdep [W]
Salle prière d'homme	25229,983	1,07	26996,0818	41,328	27037,4098
salle prière de femme	10147,5996	1,07	10857,9316	41,328	10899,2596
salle de l'imam	3122,4935	1,07	3341,06805	41,328	3382,39605

Tableau III.9 : donnant les valeurs de la déperdition calorifique Qdep **de mosquée**

	Q0 [W]	Z	QTR [W]	QV [W]	Qdep [W]
chambre 01	1571,6	1,07	1681,612	53,136	1734,748
chambre 02	1377,84	1,07	1474,2888	53,136	1527,4248
hall	823,525	1,07	881,17175	0	881,17175
séjour	2415,42	1,07	2584,4994	53,136	2637,6354

Tableau III.10 : donnant les valeurs de la déperdition calorifique Qdep **de logement**

III.4 Calcul l'émission surfacique q_{des} (W/m^2) :

La déperdition thermique divisée par la surface de plancher chauffant A_F

$$q_{des}=\frac{Q_{dep}}{A_F}\text{..... [W/}m^2\text{]}$$

De même exemple (salle prière d'homme)

Avec :

A_F=338.625m^2 et Q_{dep}=27037.4098W

$donc$:

$$q_{des}=\frac{27037.4098}{338.625} \Longrightarrow \boldsymbol{q_{des}}\textbf{=79.844[W/}\boldsymbol{m^2}\textbf{].}$$

Le résultat de calcul de l'émission surfacique résume dans le tableau suivant :

pièces		A_F [m^2]	Qdep [W]	Q_{des}[W/m^2]
1	Salle prière d'homme	338,625	27037,4098	79,8446949
2	Salle prière de femme	104,75	10899,2599	104,050214
3	salle de l'imam	26,565	3382,39605	127,32528
4	chambre01	14,24	1734,748	121,822191
5	chambre02	12	1527,4248	127,2854
6	hall	12,515	881,171	70,409189
7	séjour	21,06	2637,6354	125,243846

Tableau III.11 : donnant les valeurs de l'émission surfacique Q_{des} de locaux

III.5 Choix du système de chauffage :

Sélection sur base de la valeur d'émission thermique surfacique la plus élevée

- ✓ Salles de bain exceptées
- ✓ La valeur maximale d'émission thermique surfacique est notée q_{max}

En règle générale, on suppose un revêtement de sol $R_{\lambda,B}$=0.10 (m^2.K)/W

Permet une certaine réserve si le client ajoute du parquet ou de la moquette d'épaisseur raisonnable par exemple

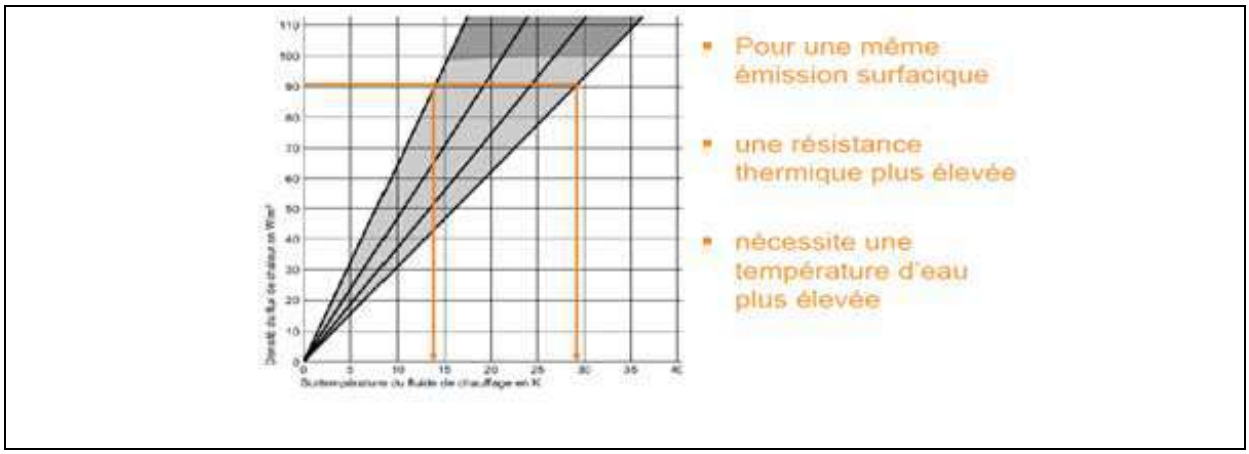


Figure III.3 : représente l'influence de la résistance thermique du revêtement de sol $R_{\lambda,B}$

III.6 Calcul la Température de départ de l'eau :

On détermine la température moyenne de l'eau sur la courbe caractéristique

Calcul de la température de retour de salle prière d'homme par la formule suivant :

$$\theta_{R,j}=\theta_j+\left(2.\Delta\theta_{H,j}{}^{1/3}+(\theta_{V,des}-\theta_j)^{1/3}\right)^3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [\circ c].$$

$$\theta_{R,j}=20+\left(2.32^{1/3}+(45-20)^{1/3}\right)^3$$

$$\boldsymbol{\theta_{R,j}=60.33\circ C}$$

Calcul de la chute de température

$\sigma = \theta_{V,des} - \theta_{R,j}$

$\sigma = 45 - 60.33 \Longrightarrow$ **σ = -15.33**

les résultats de calculs du la Température de départ de l'eau résumer dans le tableaux suivante :

pièce	Emission thermique Q_{des} [W/m^2]	pas de tube T_A [m]	Différence de température eau-air Dq_u [∘c]	Température ambiante q_i [∘c]	Chute température σ [∘c]	Température de départ $q_{V,des}$ [∘c]	Température de retour $q_{R,des}$ [∘c]
salle d'imam	127,32	0,1	32	20	-15,33	45	60,33
salle prière de femme	104,05	0,1	26	20	-2,13	45	47,13
salle prière d'homme	79,84	0,1	20	20	9,21	45	35,79
chambre01	121,82	0,1	31	20	-13,02	45	58,02
chambre02	127,28	0,1	32	20	-15,33	45	60,33
hall	70,4	0,1	18	20	12,56	45	32,44
séjour	125,24	0,1	31	20	-13,02	45	58,02

Tableau III.12 : donnant les résultats de calculs du la Température de départ de l'eau

Après on faire le réglage de l'émission surfacique les résultat existe à le tableaux suivante :

piéce	Emission thermique Q_{des} [W/m^2]	pas de tube T_A [m]	Différence de température eau-air Dq_u [∘c]	Température ambiante q_i [∘c]	Chute température σ [∘c]	Température de départ $q_{V,des}$ [∘c]	Température de retour $q_{R,des}$ [∘c]
salle d'imam	79	0,1	20	20	9,21	45	35,79
salle de prière femme	79	0,1	20	20	9,21	45	35,79
salle prière d'homme	79,84	0,1	20	20	9,21	45	35,79
chambre01	79	0,1	20	20	9,21	45	35,79
chambre02	79	0,1	20	20	9,21	45	35,79
hall	70,4	0,1	18	20	12,56	45	32,44
séjour	79	0,1	20	20	9,21	45	35,79

Tableau III.13 : donnant les résultats de calculs du la Température de départ de l'eau

III.7 Calcul la Longueur des boucles :

Surface chauffante divisée par le pas du tube longueur du tube vers le collecteur

$$L_R = \frac{A}{T} + L_0 \text{.....[m].}$$

Donc :

$$L_R = \frac{338.625}{0.1} + 0 \quad \Longrightarrow \quad \boldsymbol{L_R = 3386.25\ m}$$

	Surface de plancher chauffant A_F [m^2]	pas de tube T_A [m]	Longueur de tube (aller-retour) entre la zone chauffée et le collecteur L0 [m]	Longueur totale du tube LR [m]
Salle prière d'homme	338,625	0,1	0	3386,25
salle prière de femme	104,75	0,1	0	1047,5
salle de l'imam	26,565	0,1	13,1	278,75
chambre01	14,24	0,1	9,45	151,85
chambre02	12	0,1	14,2	134,2
hall	12,515	0,1	17,4	142,55
séjour	21,06	0,1	19,3	229,9

Tableau III.14: donnant les résultats de Calcul la Longueur des boucles

III.8 Zone périphérique

Si l'émission thermique surfacique de calcul est supérieure à la valeur de la courbe limite du système de chauffage par le sol pour une zone de séjour q_G

- Prévoir une zone périphérique
- Prévoir des corps de chauffe supplémentaires

III.8.1 Répartition des zones

III.8.1.1 Zone périphérique

- Surface d'une largeur maximale de 1 mètre le long des parois extérieures
- Calcul de la surface $A_R$sur cette base
- Pas plus faible que celui de la zone de séjour

III.8.1.2 Surface de la zone de séjour

$$A_A = A_F - A_R \text{ ……[m].}$$

Répartition de l'émission thermique entre la zone périphérique (R) et la zone de séjour (A)

$$A_R q_R + A_A q_A \geq A_F q_{des}$$

Puisque la zone de séjour seule ne suffit pas, on va la dimensionner pour son maximum (q_G)

- Sans dépasser la température limite de l'eau

$$q_R \geq \frac{A_F q_{des} - A_A q_G}{A_R}$$

III.8.1.3 Emission de la zone périphérique

III.8.1.3.1 Emission limitée par

- La température de l'eau
- La résistance thermique du revêtement de sol

En pratique, il semble peu plausible d'arriver à l'émission maximale de 175 W/m^2

III.8.1.4 Emission surfacique vers le bas :

Permet de compléter le calcul de la charge thermique pour le dimensionnement du générateur de chaleur

Les tubes d'eau chaude sont situés dans le complexe plancher

- Le calcul habituel selon NBN EN 12831 n'est pas applicable

$$q_u = \frac{1}{R_u}(R_0.q + \theta_i - \theta_u) \quad \text{……..[W/}m^2\text{] .}$$

Avec :

- q_u : L'émission surfacique vers le bas [W/m^2] ;
- q: l'émission surfacique du système de chauffage par le sol (vers le haut) [W/m^2] ;
- R_0 : la résistance thermique partielle haute d'un plancher chauffant [$m^2.K/W$] ;
- R_u : la résistance thermique partielle basse d'un plancher chauffant [$m^2.K/W$] ;
- θ_i :La température ambiante nominale [∘c] ;
- θ_u: La température ambiante sous la pièce chauffée par le sol [∘c] ;

Donc :

$$q_u = \frac{1}{R_u}(R_0.q + \theta_i - \theta_u)$$

avec :

$$R_0 = 0.0093 + R_{\lambda,B} + \frac{S_0}{\lambda_0} \quad \text{…… [}m^2.K/W\text{].}$$

$$R_u = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,ceiling} + R_{\lambda,plaster} + 0.17\text{……[}m^2.K/W\text{].}$$

Avec :

- $1/\alpha$ =la résistance d'échange thermique au niveau de la surface du sol chauffant ;=0.0093 [$m^2.K/W$]
- $R_{\lambda,B}$ =la résistance thermique du revêtement de sol [$m^2.K/W$]
- S_0 = l'épaisseur de la couche (dalle, parquet) située au-dessus du tube [m]

- λ_0 =la conductivité thermique de la couche (dalle, parquet) située au-dessus du tube [W/ (m.K)]
- $R_{\lambda,ins}$= la résistance thermique de l'isolant thermique $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,ceiling}$= la résistance thermique de la structure du plafond situé sous la couche d'isolation $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,plaster}$= la résistance thermique du plâtre (enduit) $[m^2.K/W]$
- $R_{\lambda,ceiling}$=la résistance d'échange thermique au niveau du plafond se trouvant en dessous de la pièce chauffée par le sol=0.17 $[m^2.K/W]$

Après les calculs :

R_0=0.14 $[m^2.K/W]$ et R_u=1.19 $[m^2.K/W]$

Donc l'émission surfacique vers le bas de salle prière d'homme :

$$q_u = \frac{1}{1.19}(0.14 \times 79 + 20 - (-8))$$

q_u=32.823[W/m^2]

pièce	Surface de plancher chauffant A_F [m^2]	Emission thermique Q_{des} [W/m^2]	Température ambiante q_i [∘c]	Résistance partielle haute R_0 $[m^2.K/W]$	Température sous pièce q_u [∘c]	Résistance partielle basse R_0 $[m^2.K/W]$	Emission surfacique à basse q_u $[W/m^2]$
salle d'imam	338,625	79	20	0,14	-8	1,19	32,8235294
salle de prière femme	104,75	79	20	0,14	-8	1,19	32,8235294
salle prière d'homme	26,565	79,84	20	0,14	-8	1,19	32,9223529
chambre01	14,24	79	20	0,14	-8	1,19	32,8235294
chambre02	12	79	20	0,14	-8	1,19	32,8235294
hall	12,515	70,4	20	0,14	-8	1,19	31,8117647
séjour	21,06	79	20	0,14	-8	1,19	32,8235294

Tableau III.15: donnant les résultats de Calcul de L'émission surfacique vers le bas

III.9 Détermination du débit d'eau :

Puissance thermique totale d'un système de chauffage par le sol

- Emission surfacique haute q
- Emission surfacique basse q_u
- Débit d'eau m_H d'une boucle de chauffage

$$m_H = \frac{A_F}{\sigma * C_w}(q + q_u) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [kg/s] .$$

Avec :

- m_H = le débit d'eau[kg/s] ;
- A_F =la surface de la zone de chauffage(surface de plancher chauffant)[m^2] ;
- C_w =la capacité thermique de l'eau=4190[j/(kg.K)] ;
- q =l'émission surfacique du système de chauffage par le sol[W/m^2] ;
- q_u =l'émissioon surfacique vers le bas[W/m^2] ;
- σ =la chute de température du fluide caloporteur [K] ;

Après les calculs le débit d'eau de locaux existe dans le tableau suivant :

pièce	Surface de plancher chauffant A_F [m^2]	Emission thermique Q_{des} [W/m^2]	Chute température σ [∘c]	capacité thermique de l'eau C_w [j/(kg.K)]	Emission surfacique à basse q_u [W/m^2]	Débit d'eau m_H [Kg/s]
salle d'imam	338,625	79	9,21	4190	32,82	0,98121652
salle de prière femme	104,75	79	9,21	4190	32,82	0,30352877
salle prière d'homme	26,565	79,84	9,21	4190	32,92	0,07762314
chambre01	14,24	79	9,21	4190	32,82	0,04126253
chambre02	12	79	9,21	4190	32,82	0,03477179
hall	12,515	70,4	12,56	4190	31,81	0,0243064
séjour	21,06	79	9,21	4190	32,82	0,0610245

Tableau III.16: donnant les résultats de Détermination du débit d'eau

III.10 Détermination de la puissance de locaux :

	Surface de plancher chauffant A_F [m^2]	Emission thermique Q_{des} [W/m^2]	Emission surfacique à basse q_u [W/m^2]	la puissance [W]
salle d'imam	338,625	79	32,82	37865,0475
salle de prière femme	104,75	79	32,82	11713,145
salle prière d'homme	26,565	79,84	32,92	2995,4694
chambre01	14,24	79	32,82	1592,3168
chambre02	12	79	32,82	1341,84
hall	12,515	70,4	31,81	1279,15815
séjour	21,06	79	32,82	2354,9292
La somme de la puissance de locaux				**59141,9061**

Tableau III.17: donnant les résultats de Détermination du la puissance de locaux

III.11 Le Choix des équipements de chauffage :

III.11.1 Choix de la chaudière :

III.11.1.1 Calcul de la puissance de la chaudière à installer :

La puissance de la chaudière à installer dans un logement est donnée par la formule suivante :

$$P_{chaudière} = P_{TOT}(1+Z_R)$$

Avec :

- $P_{chaudière}$ [W]: représente la puissance de la chaudière ;
- P_{TOT} [W] : représente la puissance total de local ;
- Z_R : représente la majoration pour les pertes dans les conduites (pris généralement 10%).

A.N : $P_{chaudière}$=1.1×**59141,9061**

$P_{chaudière}$=65056.096W=**65.056KW**

D'après le catalogue **ECOFLAM** notre choix c'est porté sur la chaudière de type :

Modèle	BLU170
Puissance calorifique [W]	76.54
Pression gaz [bar]	20 ÷300
La tension [V]	230/400
moteur	0.25
fonctionnement	P-P AB

Tableau III.17 : donnant les caractéristiques de la chaudière pour notre installation



Figure III.4: représente une chaudière du groupe ECOFLAM

III.11.2 Dimensionnement de la cheminé :

La cheminée est construction qui pour rôle d'évacuer de la chaufferie les gaz résultants de la combustion dans les chaudières le tirage de la cheminée sera calculé par la relation suivante :

$$H_{cheminé} = h.(\rho_e - \rho_i)$$

Ou :

- h **[m]**:représente la hauteur de la cheminée,il est donné par la formule suivante :

$$h = h_B + 1$$

Ou :

- h_B [m]: représente la hauteur du batiment ;
- ρ_e [Kg/m^3]:représente la masse volumique de l'air extérieur ;
- ρ_i [Kg/m^3]:représente la masse volumique des gaz de combustion.

Application au projet :

On a la hauteur de notre mosquée est à 4 m ce qui nous donne $h_{cheminé}$**= 5 m.**

On prend ρ_e**=1.293**Kg/m^3 **;** ρ_i**=0.927**Kg/m^3

A.N : $H_{cheminé}$=5×(1.293-0.927)

$$H_{cheminé}=1.83 \text{ mce}$$

Pour le calcul de la section de la cheminé, on emploi l'équation de **HERODY** :

$$S_{cheminé} = P_{chaudière}/[10^6.(H/10)^{0.5}]$$

Ou :

$P_{chaudière}en\ [W]$: représente la puissance de la chaudière.

A.N : $H_{cheminé} = 1.83\ mce$ et on a $P_{chaudière}$=65.056KW

Donc :

$S_{cheminé}$=$65.056/[10^6.(1.83/10)^{0.5}]$

$S_{cheminé}$=**1.52** m^2

III.11.3 La ventilation de la chaufferie :

Elle a pour but :

- Amener l'air neuf nécessaire à la combustion ;
- Evacuer les gaz qui se rependent dans la chaufferie ;
- Maintenir une température acceptable à l'intérieur de la chaufferie ;

On prévoira une ventillation naturelle pour la chaufferie par deux ouvertures :

- Une ouverture basse pour la pénétration de l'air.
- Une ouverture haute pour l'évacuation de l'air vicié.

Les sections des deux ouvertures basse et haute sont donnés par les relations suivantes :

$$S_{ouverture\ haut} = S_{cheminé}/2$$

Et :

$$S_{ouverture\ basse} = S_{cheminé} + S_{ouverture\ haut}$$

A.N :

$S_{ouverture\ haut}$ =$1.52/2$=**0.76** m^2

$S_{ouverture\ basse}$ =0.76+1.52=**2.28**m^2

III.11.4 Choix de vase d'expansion :

Dans tous les circuits de chauffage , on doit placer un vase d'expansion qui est en communication permanente avec les circuits de chauffage , il est pour but de :

- L'expansion de l'eau contenue dans l'installation ;
- Couvrir les pertes et assurer le dégazage .

III.11.4.1 Calcul du volume nominal minimal du vase d'expansion :

Le volume nominal du vase d'expansion $\mathbf{V_n}$ se calcul d'après la relation suivante :

$$\mathbf{V_n = (\Delta V_i + V_r) \times [(P_f + 1)/(P_f - P_i)]}$$

Ou :

- $\mathbf{\Delta V_i}$ **:**représente l'augementation du volume initial d'eau de l'installation pris à la température de référense moyenne de 10∘c.

Ona :

$$\mathbf{\Delta V_i = n \times V_i}$$

Avec :

- $\boldsymbol{V_r}$: représente la contenance résiduelle en eau de l'installation ,elle est au minimuni égale à 0.5% de la contenance de l'installation à 10∘C.
- **n** : représente la pourcentage de dilatation de l'eau, la valeur de n est donnée dans le tableau suivant :

T_a	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	∘c
n	0.40	0.75	1.17	1.67	2.24	2.86	3.55	4.31	5.11	5.99	%

Avec T_a est la température d'aller.

- $\boldsymbol{P_f}$ en [bar]: représente la pression finale de l'installation ,inférieur à la pression d'ouverture de la soupape de sécurité ;

Ona :

$$\boldsymbol{P_f = P_{do} + \Delta P_{do}}$$

- $\boldsymbol{P_{do}en}$ $[\boldsymbol{bar}]$: représente la pression finale de l'installation de début d'ouverture de la soupape (souvent appelée pression de tarage) ; n'excède pas 2.5bars.
- $\boldsymbol{\Delta P_{do}en}$ $[\boldsymbol{bar}]$ **:** represente la déffirences de pression entre la pression de l'installation et la pression de début d'ouverture de la soupape .en règle générale dans ces cas des installations de chauffage on prend 0.5bar

Application au projet :

D'après le catalogue de **SALMSON** on sélictionne un vase d'exponsion du type :

Le modèle	066311
Capacité en [litre]	100
Hauteur en [mm]	490
Diamétre de raccordement [mm]	460
La pression de service en [bar]	4
La masse en [kg]	19.5

Tableau III.18 : donnant les caractéristiques du vase d'expansion pour notre installation



Figure III.5: représente une vase d'expansion

III.11.5 Choix de la pompe de circulation :

La circulation de l'eau dans un réseau de chaleur est assurée par des pompes placée soit sur l'aller et le retour soit sur l'aller ou le retour.

Leur entrainement s'effectue par moteur électrique, le choix de la hauteur manométrique de la pompe se fait sur la base de critères de rentabilité, cette dernière se détermine à partir du réseau reliant la chaudière au point de fourniture critique. La pression de service de la pompe de circulation pour un réseau est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{pompe de circulation}} = P_{\text{statique}} + \Delta P_{\text{réseau}} \quad \text{[bar]}$$

Ou :

- **$P_{statique}$ (en bar):** représente la pression due à la colonne d'eau dans notre installation, elle se calcule à partir de la hauteur statique de l'installation en mètres. Elle est égale à **1.83 bar** pour notre installation.
- **$\Delta P_{réseau}$ (en bar):** représente les pertes de charge totale associé aux tronçons la plus défavorable, dans notre cas

D'où la pression de service de notre pompe de circulation dans le circuit d'aller , une pour le fonctionnement permanant et autre de sécurité débite chacune d'eux 17.79m^3/h avec une hauteur manométrique égale à 21.7 mètre

D'après le catalogue **SALMSON** les caractéristiques de la pompe de circulation sélectionnée sont dans le tableau suivant :

Modèle	PM 80-250-3-4/22
L'intensité de la pompe en [Ampère]	5.1
Vitesse de rotation en [tr/mn]	4200
Diamètre en [mm]	66/76
La hauteur en [mm]	410
La masse en [Kg]	110

Tableau 3 : donnant les caractéristiques de notre pompe de circulation choisi

III.12 Les schémas de l'installation de chauffage de plancher à notre projet :

On utilise le logiciel (**GSTARCAD France 2017**) pour dessiner l'installation de chauffage de plancher à notre projet :



Figure III.6 : représente le logiciel (GSTARCAD France 2017) pour dessiner l'installation de chauffage de plancher à notre projet

Conclusion générale

L'objectif principal de cette dernière a été de déterminer l'évolution des températures dans les différents éléments constituants le système, et de définir les caractéristiques optimales de notre installation sur la base de deux exigences principales :
- La température de plancher ne doit pas dépasser 28°C, tout en étant supérieure ou égale à la température de consigne de l'air.
-La conformité du système (confort thermique).

L'étude des installations de chauffage nous a permis d'améliorer nos connaissances dans ce domaine qui reste un domaine très vaste, et mieux recevoir l'importance et la nécessité de chauffage de plancher dans la vie de l'être humain .

Durant toutes les étapes de notre étude on a toujours essayé de conserver les conditions de confort ainsi que les conditions économique, comme nous avons traité aussi le problème de la condensation superficielle et dans la masse des parois.

Nous espérons aussi que notre étude représente une aide et une documentation riche aux étudiants qui s'intéressent au domaine du chauffage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Yves JANNOT. TRANSFERTS THERMIQUES. Cours de 2ème année. Ecole des Mines Nancy. 2011.
[2] R.COMOLET. Mécanique des fluides expérimentale. Tome I et II. Masson.1994.
[3] André B, De Vriendt. La transmission de la chaleur. Volume 1, tome1, deuxième édition. Gaetan morin.
[4] Hicham.T. *Cours détaillé et Approfondi de Transfert de Chaleur.* Almohandiss. 16 nov.2011.
[5] Lys Air Mécanique Inc Enterprise. La référence en matière de gestion de l'air au Québec. 2006-2012.
[6] Jacques VARET. Géothermie basse énergie, usage direct de la chaleur. Masson. 1982
[7] Anonyme. La Géothermie et l'Aérothermie. Avenir-Énergie.
[8] Ouali Salima. ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE. Mémoire de Magister En géophysique. Université de boumerdès 2006.
[9] Jean Lemale. La géothermie. Le moniteur. © Dunod, Paris 2009. ISBN 978-2-10-052879-0.
[10] Lucie TOME, Les puits canadiens/Provençaux et qualité de l'air intérieur : Analyse des dégradations potentielles. Mémoire de l'ingénieur en génie sanitaire de l'Ecole de Hautes Etudes en santé Publique, 28 sept. 2009.
[11] J.-L. Boulan, A. Dudouble. Pompes à chaleur et géothermie, Agence Régionale de L'environnement de Haute-Normandie. Edition: Partenaires d'Avenir. ISSN : 1274 – 8749, N 62. © AREHN, 2010.
[12] Jean Lemale, Daniel Gourmez. Pompe à chaleur géothermique sur aquifère Conception et mise en oeuvre. Guide technique, collection scientifique et technique Février 2008.
[13] Pompes à chaleur géothermiques. Ministère de l'Environnement NOVA SCOTIA, Nouvelle-Ecosse 1-877-9ENVIRO. jan.2010.
[14] David Amitrano. Eléments de dimensionnement d'un échangeur air/sol, dit «puits canadien». Université J. Fourier, Grenoble. Version du 28-04-2006.
[15] M. Benhammou, B. Draoui. Modélisation de la température en profondeur du sol pour la région d'Adrar - Effet de la nature du sol. Revue des Energies