

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE**  
**LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**Mémoire de Master En Énergétique**

**Thème**

**Chauffage solaire d'une maison individuelle par  
plancher chauffant**

**Proposé par :**

**Mme. F. SAHNOUNE (encadreur)**

**Mr. Mohamed Ben Braika (co-encadreur)**

**Réalisé par :**

**ABBAS Mohammed Lamin**

Jun 2015

ENP 10 avenue Hassan Badi El-Harrach Alger

# **REMERCIEMENTS**

Je remercie en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail.

Mes sincères remerciements à ma promotrice Mme. F. SAHNOUNE et mon co-promoteur Mr. Mohamed Ben Braika pour leurs précieux conseils et orientations.

Je remercie vivement les membres du jury, pour avoir pris le temps et le soin de lire ce rapport.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département Génie Mécanique d'avoir participé à ma formation et de m'avoir prodigué un enseignement enrichi par leur expérience.

## الملخص :

الغرض من هذا العمل هو تقديم رؤية شاملة عن تكنولوجيا الجيالديها مستقبلا واعد الا وهيتكنولوجيا التدفئة بواسطة الطاقة الشمسية بأرضية مدفئة وتطبيقها لتكنولوجيا التدفئة منزل ينقسم هذا العمل إلى أربعة أقسام أساسية، القسم الأول ونخص به شرح تقنية التدفئة بالطاقة الشمسية بواسطة أرضية مدفئة وتقديم مختلف القوانين الفيزيائية التي سنحتاج إليها، القسم الثاني نخصصه لتقديم شرح وحاول مختلف مكونات المنشأة، القسم الثالث نخصصه ليجاد الضياء عفا الإستطاعة الحرارية، أما القسم الرابع نخصصه لبحث اختيار مختلف مكونات المنشأة ودراسة أبعادها

كلمات مفاتيحية: أرضية مدفئة، تدفئة شمسي، ملقط شمسي

## RESUME :

Le travail présenté dans ce mémoire consiste à présenter l'une des techniques de chauffage qui a un avenir très prometteur qu'on appelle le chauffage solaire par dalle chauffante et qu'on va appliquer pour le chauffage d'une maison. ce travail est scindé en quatre parties principales ; la première est consacré à la présentation et une vue globale sur le chauffage solaire par dalle chauffante, la deuxième va nous renseigner sur les principaux éléments de l'installation, la troisième va nous donner les déperditions thermique de la maison quant à la dernière partie elle va nous renseigner sur les choix des éléments de l'installation et leurs dimensionnements.

**Mots clé :** Dalle chauffante, chauffage solaire, capteurs solaires.

## ABSTRACT:

The purpose of this work is to present one of the heating technology which has a great future, we call this « the solar heating by slab heating ». This technology will be applied for the heating of a house. This work is divided into four main parts; the first one is devoted to the presentation and overview on the solar heating by « slab heating ». The second topic is consecrated to the presentation of the main elements of the installation. The study of the heat loss in the house, will be treated in the third chapter. The last part is devoted to the selection and the design of the plant components.

**Keywords:** slab heating, solar heating, solar collectors.

# TABLE DES MATIERES

Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I LE PLANCHER CHAUFFANT</b>	
I.1.Définitions .....	3
I.1.1.Plancher chauffant basse température .....	3
I.1.2.Plancher solaire direct (PSD) .....	3
I.1.3.Capteur solaire thermique.....	3
I.1.4.Liquide caloporteur .....	4
I.1.5.Énergie d’appoint .....	4
I.1.6.Système solaire combiné .....	4
I.1.6.a.Le plancher solaire direct (PSD) .....	5
I.1.6.b.Le système à hydro-accumulateur .....	5
I.2.Principe et schéma de fonctionnement .....	5
<b>CHAPITRE II NOTIONS DE TRANSFERT DE CHALEUR</b>	
II.1.Introduction .....	9
II.2.Generalites sur les transferts de chaleur .....	9
II.2.1.Définitions .....	9
II.2.1.1.Champ de température .....	9
II.2.1.2.Flux de chaleur .....	9
II.2.2.Bilan d’énergie .....	10
II.2.3.Expression des flux d’énergie .....	11
II.2.3.1.Conduction .....	12
II.2.3.2.Convection .....	13
II.2.3.3.Rayonnement .....	14
II.2.4.Flux de chaleur lié à un débit massique .....	15
II.2.5.Déperditions .....	15
II.2.5.1.Les déperditions par transmission .....	15
II.2.5.2.Déperditions par infiltration .....	16
II.2.5.3.Déperditions globales (coefficient GV) .....	16

II.2.5.4.Déperditions dans un lieu donné pour la période hivernale.....	17
II.3.Conclusion .....	17

### **CHAPITRE III DESCRIPTION DES ELEMENTS DE L'INSTALLATION**

III.1.Introduction .....	19
III.2 Principe du chauffage solaire d'une maison par Dalle chauffante.....	19
III.3.Différents types de capteurs solaires thermiques .....	20
III.3.1. Capteur sans vitrage .....	20
III.3.2.Capteurs vitrés .....	21
III.3.3.Capteur sous vide .....	22
III.3.4.Les capteurs à tube sous vide à effet thermos .....	23
III.3.5.Les capteurs-stockeurs .....	23
III.3.6.Les capteurs plans vitrés .....	24
III.3.6.1.Bilan thermique d'un capteur plan .....	24
III.3.6.2.Rendement du capteur plan .....	25
III.3.6.3.Courbe de rendement des capteurs plans .....	27
III.4.Les type des Pompes utilisées .....	28
III.4.1.Les pompes centrifuges .....	29
III.4.1.1.Principe de fonctionnement .....	29
III.4.1.4.Utilisation .....	29
III.5.Le chauffage d'appoint .....	29
III.5.1.Les différents dispositifs de chauffage d'appoint .....	30
III.5.1.1. La pompe à chaleur (PAC) .....	30
III.5.1.2. Chauffage à Gaz .....	30
III.6.Plancher chauffant .....	30
III.6.1.Système de chauffage par le sol à eau chaude .....	30
III.7.Ballon de stockage .....	31
III.7.1.Principe de fonctionnement .....	31
III.8.Regulateur de chauffage .....	31

III.9.Conclusion .....	31
------------------------	----

## **CHAPITRE IV CALCUL DES DEPERDITIONS**

IV.1.Introduction .....	33
IV.2.Presentation .....	33
IV.2.1.Description de la maison .....	33
IV.2.1. Paramètres climatiques et thermodynamique .....	34
IV.2.2. Paramètres thermiques .....	34
IV.3.Calcul des résistances thermiques des constituants de la maison.....	35
IV.3.1.Resistance thermique de Mur1 RMur1 .....	35
IV.3.2.Resistance thermique de Mur2 Rmur2 .....	36
IV.3.3.Resistance thermique de mur3 Rmur3 .....	36
IV.3.4.Resistance thermique de Mur4 RMur4.....	37
IV.3.5.Resistance thermique de Mur5 RMur5 .....	38
IV.3.6.Resistance thermique de Mur6 RMur6 .....	39
IV.3.7.Resistance thermique du plafond R plafond .....	39
IV.4.Calcul des déperditions .....	40
IV.4.1.Déperdition par transmission .....	40
IV.4.2.Déperditions par infiltration .....	41
IV.5.Calcul des besoins en chauffage .....	41
IV .6.Conclusion .....	41

## **CHAPITRE V DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION**

V.1.Dimensionnement de l'installation pour le chauffage domestique.....	43
V.1.1.Choix du capteur .....	43
V.1.2.Caractéristiques générales des capteurs solaires plans .....	43
V.1.3.Dimensions des capteurs.....	44
V.1.4.Rendement du capteur .....	44

V.1.5.Surface de captation .....	44
V.1.6.Nombre de capteurs utilisés .....	45
V.2.Choix de la pompe à chaleur.....	46
V.3.Choix du chauffage au gaz .....	47
V.4.Dimensionnement de la pompe à chaleur et de la chaudière à gaz.....	47
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>49</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig. II.1: système et bilan énergétique.....	2
Fig. II.2: Schéma du transfert de chaleur conductif.....	4
Fig. II.3: Schéma électrique équivalent d'un mur simple.....	6
Fig. II.4 : couches de mur disposées en série.....	7
Fig. II.5 : schéma électrique équivalent.....	11
Fig. II.6 : couches de mur disposées en parallèle.....	12
Fig. II.7 : schéma électrique équivalent.....	13
Fig. II.8 : Schéma du transfert de chaleur convectif.....	14
Fig. II.9 : Schéma du transfert de chaleur radiatif.....	14
Fig. II.10 : Coupe d'un tube à l'intérieur circule un fluide.....	15
Fig. III.1: schéma de principe.....	19
Fig. III.2: Capteur sans vitrage.....	20
Fig. III.3: Installation de production d'eau chaude sanitaire.....	21
Fig. III.4: Coupe d'un capteur vitré .....	22
Fig. III.7: Capteur sous vide.....	23
Fig. III.8: Coupe d'un capteur sous vide.....	23
Fig. III.9: Schéma d'un capteur à tube sous vide à effet thermos .....	24
Fig. III.10: capteurs stockeurs.....	25
Fig. III.12: courbe de rendement des capteurs plans .....	27
Fig. III.13: Schéma de principe de la pompe à chaleur à compression de vapeur .....	27
Fig. III.16 : chaudière à ventouse .....	29
Fig. III.21: Plancher de type A .....	29
Fig. III.22: plancher de type B .....	30
Fig. III.24 : Schéma de principe d'un ballon de stockage de chaleur.....	33

Fig. IV.1: Dimensions de la Maison F3 située à la région de Dellys.....	33
Fig. IV.2: coupe de dessus de la Maison F3.....	36
Fig. IV.4: Schéma équivalent de la maison F3.....	36
Fig. V.1: Vue principale d'un capteur solaire plan .....	43
Fig. V.2: Pompe à chaleur ATLANTIC ALFEA EVOLUTION .....	43
Fig. V.3 : chaudière micro-accumulation.....	46

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau. IV.1 : Paramètres climatiques .....	34
Tableau. IV.2 : constitution des murs extérieurs .....	34
Tableau. IV.3 : Constitution des fenêtres .....	35
Tableau. IV.4 : Constitution de la porte .....	35
Tableau. IV.5 : Constitution des impostes .....	35
Tableau. IV.6 : Constitution du plafond .....	35
Tableau. IV.7 : calcul des déperditions par transmission des parois .....	38
Tableau. IV.8 : perméabilités des constituants de Mur <sub>1</sub> .....	39
Tableau. IV.9 : calcul des déperditions par infiltration de la maison .....	49
Tableau. IV.10 : Relevé des températures moyennes mensuelle pour la saison de chauffe des années : 2001-2002-2003-2004-2005-2006-2007-2008-2009-2010 .....	40
Tableau. IV.11 : Les valeurs des degrés jour pour la saison de chauffe de 2000 à 2010 .....	44
Tableau. 1 V.1 : caractéristiques du système capteur solaire plan MEGASUN .....	44
Tableau. V.2 : Rendement du capteur solaire pendant la saison de chauffe .....	44

## NOMENCLATURE

<i>symboles</i>	<i>Désignations</i>	<i>Unités</i>
$T_e$	Température ambiante de l'air extérieur	$K$
$T_i$	Température de l'air de la maison	$K$
$T_{df}$	Température finale de la dalle chauffante	$K$
$T_d$	Température de la dalle chauffante	$K$
$T_{m,i}$	Température d'entrée de l'eau dans le tube sous forme de spirale enfuie sous la dalle chauffante	$K$
$T_{m,s}$	Température de sortie de l'eau dans le tube sous forme de spirale enfuie sous la dalle chauffante	$K$
$Q$	Quantité de chaleur	$J$
$t$	Temps	$s$
$q$	Flux de chaleur	$W$
$q_{tot}$	Déperditions totales de la maison	$W$
$q_{st}$	Flux de chaleur stocké	$W$
$q_g$	Flux de chaleur généré	$W$
$q_e$	Flux de chaleur entrant	$W$
$q_s$	Flux de chaleur sortant	$W$
$C_p$	Chaleur spécifique massique à pression constante	$J/KgK$
$V$	Volume	$m^3$
$G$	Coefficient des déperditions volumique	$W/m^3°C$
$Re$	Nombre de Reynolds	<hr style="width: 100px; margin: 0 auto;"/>
$r$	Perte de charge linéaire en hauteur	$m$
$a$	Azimut du soleil	Degré
$a$	Diffusivité thermique	$m^2/°C$
$C^*$	Constante solaire	$W/m^2$
$D$	Rayonnement diffus	$W/m^2$
$E$	L'émittance énergétique	$W/m^2$
$ET$	Équation du temps minute	Minute

$Gg$	Rayonnement global	$W/m^2$
$G^*$	Rayonnement global du ciel clair	$W/m^2$
$GV$	Coefficient de déperdition thermique	$W/^\circ C$
$G$	Coefficient de déperditions volumiques	$W/m^3^\circ C$
$I$	Rayonnement direct	$W/m^2$
$Ndj$	Nombre de degrés jours	$^\circ C$
$SS$	Durée d'insolation	<i>Heurs</i>
$SS0$	Durée maximale d'insolation	<i>Heurs</i>
$TSV$	Temps solaire vrai	<i>Minute</i>
$TSM$	Temps solaire moyen	<i>Minute</i>
$i$	Coefficient de convection de l'air intérieur	$W/^\circ c m^2$
$e$	Coefficient de convection de l'air extérieur	$W/^\circ c m^2$
$R''$	Resistance thermique par unité de surface	$m^2 \text{ }^\circ C/W$
$A1$	Surface de la dalle chauffante	$m^2$
$Ft$	Flux de chaleur transmit à la dalle chauffante	$W$
$Fs$	Flux de chaleur stocké dans la dalle chauffante	$W$
$FP$	Flux de chaleur perdu par la dalle chauffante	$W$
$Tdi$	Température initiale de la dalle chauffante	$K$
$td$	Puissance utile de la pompe de circulation	$s$
$\Delta ta$	temps de chauffage de l'air de la maison en régime transitoire	$s$
$\Delta tm$	Temps de chauffage de la maison en régime transitoire	$s$
$St$	Surface totale de captage	$m^2$
$Sc$		
	$N$	Nombre de capteurs utilisés
$S$	Surface du capteurs plan	$m^2$
$Nc$	Nombre de couds	
$\Delta PL$	Pertes de charge linéaire en pression	$Pa$
$\Delta Ps1$	Perte de charge singulière liées au couds en pression	$Pa$
$\Delta Ps2$	Perte de charges singulières liées au changement de sections	$Pa$
$\Delta P$	Perte de charges globales	$Pa$
$Pu$	Puissance utile de la pompe de circulation	$W$
$Pf$	Puissance fournie à la pompe de circulation	$W$
$SE$	Surplus d'énergie	$W$

$V_b$	Volume du ballon de stockage	$m^3$
$C_{pe}$	Chaleur spécifique massique de l'eau	$J/KgK$
$C_{pa}$	Capacité thermique de l'air de la maison	$J/K$
$m_e$	Débit massique de l'eau qui circule dans le réseau	$Kg/s$
$C_{pm}$	Capacité thermique de la maison	$J/K$
$\lambda$	Conductivité thermique du milieu	$W/(m*K)$
$\sigma$	Constante de Stefan	$W/(m^2*K^4)$
$\epsilon_p$	Facteur d'émission de la surface	—————
$\nu$	Viscosité cinématique	$m^2/s$
$\rho$	Masse volumique	$Kg/m^3$
$\alpha_p$	Coefficient d'absorption de la plaque absorbante	%
$\tau_c$	Coefficient de transmission de la couverture transparente	%
$\rho_c$	Coefficient de réflexion de la plaque absorbante	%
$\varphi$	Latitude	Degré
$\lambda$	Longitude du lieu	Degré
$\Phi$	Puissance absorbée par le capteur	W
$\Phi_u$	Puissance emmagasinée dans le fluide caloporteur	W
$\Phi_a$	Puissance perdue par convection et rayonnement	W
$\Phi_t$	Puissance de démarrage	W

## INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années nous avons constaté que l'utilisation des sources d'énergies fossiles peut être très dangereuse pour notre planète et les réserves mondiales sont limitées et arrivent bientôt à sec. Alors nous avons cherché d'autres sources d'énergies alternatives qui sont propres, sans danger pour la nature et qui sont inépuisables. Et nous avons trouvé plusieurs sources d'énergie qui peuvent sauver notre planète mais nous allons nous concentrer sur l'une d'entre elles qui a un potentiel énorme à savoir notre étoile la plus proche, le soleil. En effet cet astre géant renvoie à la terre un flux de chaleur sous forme de rayonnements très intense qui pourrait couvrir les besoins énergétiques des humains et plus encore, mais une question se pose, comment capter cette énergie et l'utiliser dans la vie quotidienne des mortels ? Alors quelques scientifiques se sont penchés sur la question et ils ont étudié et imaginé de multiples systèmes destinés au captage des rayonnements solaires mais ces scientifiques sont minoritaires face aux masses populaires et aux dirigeants politiques qui voient dans les énergies fossiles une affaire qui tourne et un élément fondamental dans l'économie mondiale, alors pourquoi changer ça ? Puisque toute une culture marche avec les énergies fossiles, donc ils ont marginalisé un peu les chercheurs dans les énergies renouvelables et ils ont plutôt encouragé les découvertes dans le domaine des hydrocarbures.

Il a fallu attendre le choc pétrolier dans les années 70 pour pousser les dirigeants des différents pays à revoir leur position vis-à-vis des hydrocarbures et de voir dans les énergies renouvelables des énergies du futur tout particulièrement l'énergie solaire, et à financer des recherches dans ce domaine-là.

Maintenant nous avons plusieurs techniques pour capter l'énergie solaire et l'utiliser pour répondre à nos besoins en énergie dans notre vie quotidienne, et ce modeste travail consiste à exposer et faire une étude simplifiée d'une technique destinée à capter les rayonnements solaires avec des capteurs thermiques plans et chauffer une maison située dans la région de Dellys en utilisant une dalle chauffante pour diffuser la chaleur dans toute la maison.

# **CHAPITRE I**

## **LE PLANCHER CHAUFFANT**

## **I.INTRODUCTION**

Le plancher chauffant constitue un excellent moyen de chauffage car il ne prend aucune place dans la maison et on n'a pas besoin d'un moyen de stockage de la chaleur et il donne des températures douces et uniformes.

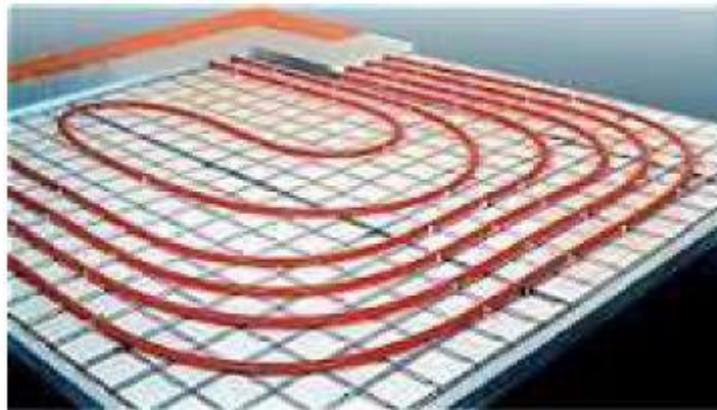
### **I.1.Définitions :**

#### **I.1.1.Plancher chauffant basse température :**

Dispositif de chauffage intégré à une dalle de béton. Cet émetteur est dimensionné pour que sa température de surface reste modérée [1].

#### **I.1.2.Plancher solaire direct (PSD) :**

Marque commerciale désignant un type de système solaire combiné très répandu en France à ce jour. Il associe des capteurs solaires thermiques et un plancher chauffant basse température servant à la fois de stockage et d'émetteur de chaleur, sans échangeur intermédiaire [1].



**Fig. I.1: Le plancher solaire direct (PSD) [1]**

#### **I.1.3. Capteur solaire thermique :**

Coffre rigide et vitré à l'intérieur duquel une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeur) reçoivent le rayonnement solaire et chauffent un liquide caloporteur (Antigel). Certains capteurs, conçus pour être assemblés sur chantier, sont fournis en « pièces détachées ». Quand ils sont « intégrés » ou « incorporés » en toiture, les capteurs assurent également une fonction de couverture du bâtiment [3].



**Fig. I.2: Capteur solaire thermique [3]**

#### **I.1.4.Liquide caloporteur :**

il s'agit la plupart du temps d'un mélange d'eau et d'antigel, assurant le transport de l'énergie thermique du capteur vers le ballon d'ECS ou vers le système de chauffage [1].

ECS : eau chaude sanitaire.

#### **I.1.5.Énergie d'appoint :**

énergie utilisée pour compléter ou relayer l'énergie solaire en cas d'ensoleillement insuffisant ou nul ; ce peut être le gaz, le fioul, le bois, l'électricité... [1].

- Des besoins contrastés [1]

Le système solaire combiné est toute fois plus complexe à mettre en œuvre car le chauffage des locaux et la fourniture d'eau chaude domestique n'obéissent pas aux mêmes exigences :

- on a besoin d'eau chaude au robinet tout au long de l'année, alors que la demande de chauffage varie fortement selon les saisons ;
- lorsque le chauffage est en marche, la demande journalière de chaleur est relativement continue. À l'inverse, celle d'eau chaude sanitaire est irrégulière : des pointes de courte durée alternent avec de longues périodes sans demande ;
- la température de l'eau utilisée dans le circuit de chauffage est plutôt basse (entre 30 et 50 °C), alors que l'eau sanitaire est beaucoup plus chaude (entre 45 et 60 °C).

C'est pourquoi, pour satisfaire ces besoins contradictoires, de multiples solutions plus ou moins sophistiquées, novatrices et inventives ont pu voir le jour dans différents pays.

### **I.1.6. système solaire combiné :**

Comme toute installation de chauffage central, un système solaire combiné comporte : [1]

- une « chaudière », en l'occurrence des capteurs solaires thermiques analogues à ceux qui alimentent un chauffe-eau solaire ;
- une distribution, par un réseau de tuyauteries semblable à celui utilisé dans les systèmes classiques ;
- un (ou des) dispositif(s) de stockage de l'énergie thermique (ballon-tampon, dalle de béton);
- des émetteurs de chaleur (radiateurs basse température, dalle chauffante, etc.) ;
- une régulation.

Un système d'appoint permet de pallier les insuffisances du rayonnement. Il peut être totalement indépendant de l'installation solaire : cheminée, poêle à bois, convecteurs électriques, etc.

Il peut aussi être couplé à la partie solaire de l'installation. Ainsi, la régulation peut gérer la mise en route et l'arrêt de l'appoint, en fonction de l'ensoleillement, de la demande de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas, on utilise une chaudière classique (fioul, gaz, bois, électrique). [1]

Il existe deux grands types de systèmes solaires combinés avec des variantes permettant de s'adapter à la majorité des cas :

#### **I.1.6.a . Le plancher solaire direct (PSD) : [1]**

Ce type de système solaire combiné est couramment installé aujourd'hui en France. Le principe est simple : un liquide caloporteur est chauffé dans des capteurs solaires thermiques ; il circule directement dans des tuyaux d'un plancher chauffant ou réchauffe le ballon d'ECS par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. Il repart ensuite vers les capteurs où il est chauffé à nouveau, et ainsi de suite tant que l'ensoleillement est suffisant.

L'appoint peut être indépendant ou couplé.

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

#### **I.1.6.b. Le système à hydro-accumulateur : [1]**

Le soleil n'étant pas présent toute la journée ni toute l'année, l'idée consiste à stocker la chaleur produite par les capteurs dans un volume d'eau tampon, dans lequel on vient puiser lorsque cela est nécessaire.

L'énergie nécessaire au chauffage est diffusée dans la maison soit grâce à des radiateurs, de préférence fonctionnant à basse température, soit grâce à un plancher chauffant.

Les progrès de la recherche, notamment sur la régulation et la gestion du stockage de l'énergie dans les ballons, permettent de réaliser aujourd'hui des systèmes performants et compacts dont le volume est acceptable (de 500 à 2000 L).

## I.2.Principe et schéma de fonctionnement : [1]

### □ Produire

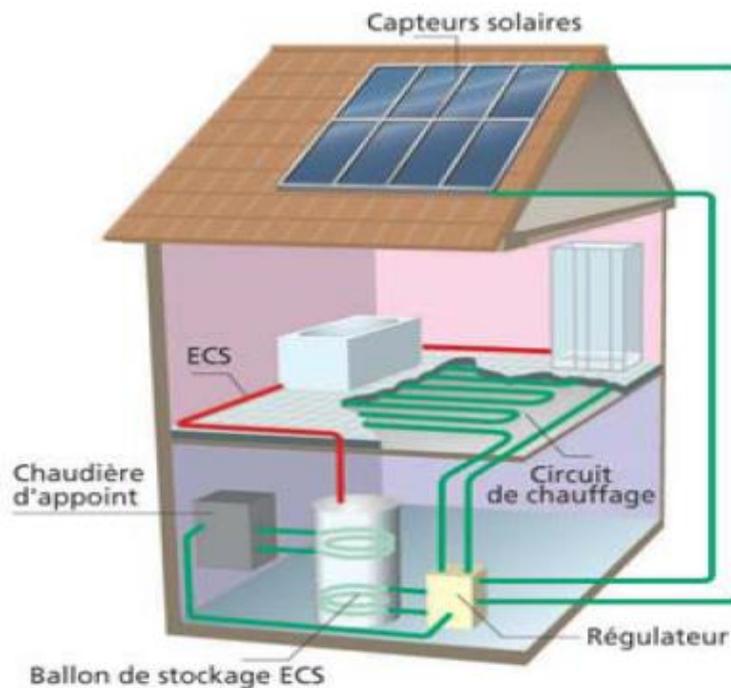
Des capteurs solaires thermiques permettent de transformer le rayonnement solaire en chaleur. Certains capteurs, conçus comme des éléments de toiture, s'intègrent visuellement très bien aux constructions.

De préférence orientés plein sud et inclinés avec un angle de l'ordre de 45°, ils pourront néanmoins, sans réduction trop importante des performances, avoir une orientation allant du sud-est au sud-ouest, et une inclinaison comprise entre 30 et 60°.

### □ Principe du plancher solaire direct (PSD)

Le liquide caloporteur, arrivant chaud des capteurs thermiques, passe directement dans la dalle et repart vers les capteurs.

La dalle stocke la chaleur et la transmet à la pièce. Un circuit de dérivation permet de produire l'eau chaude sanitaire.



**Fig. I.3. : Principe du plancher solaire direct (PSD®)**

En vert : circuit où circule l'antigel.

En rouge : circuit d'eau chaude sanitaire.

### □ Stocker et restituer

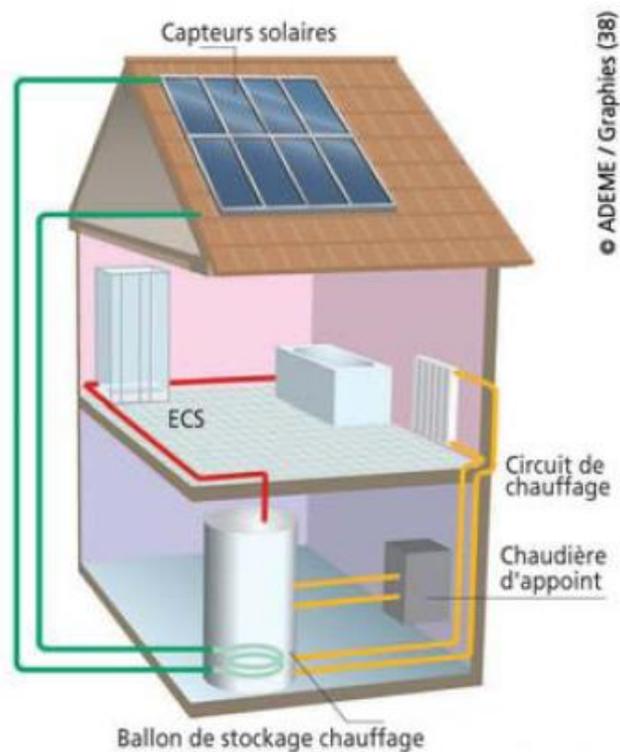
Dans les systèmes du type plancher solaire direct (PSD®), c'est l'émetteur de chaleur, c'est à dire la dalle de béton, qui va assurer le stockage de l'énergie et permettre une diffusion de la chaleur au cours de la nuit.

Les autres systèmes fonctionnent selon le principe suivant: lorsqu'il y a du soleil, la chaleur est stockée dans un réservoir d'eau tampon par le biais d'un échangeur de chaleur. Cette eau ainsi réchauffée est utilisée pour le chauffage des bâtiments à l'aide d'émetteur basse température. L'eau

chaude sanitaire peut être produite soit dans un ballon immergé dans le volume tampon, soit par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur situé dans le ballon de stockage ou à l'extérieur de celui-ci.

#### □ Principe des autres systèmes combinés

Le liquide caloporteur chauffe l'eau du réservoir et repart vers les capteurs. L'eau du réservoir sert pour alimenter le système de chauffage. L'eau chaude sanitaire est produite dans un ballon immergé ou par un échangeur de chaleur.



**Fig. I.4: Principe des autres systèmes combinés**

#### □ Réguler

La régulation est un élément indispensable au bon fonctionnement du système. Son rôle est de donner la priorité à l'énergie solaire chaque fois que celle-ci est disponible.

Elle doit aussi moduler l'énergie d'appoint à apporter pour maintenir la température de confort sans ensoleillement et assurer la production d'eau chaude sanitaire suffisante.

#### □ Maîtriser les surchauffes estivales

La surface de capteurs est largement suffisante pour assurer les besoins d'eau chaude sanitaire des occupants pendant l'été. Si les habitants partent en vacances pendant cette période, les capteurs, qui n'ont plus de besoins à couvrir,  $P$  ; peuvent atteindre des températures très élevées.

Pour maîtriser ces éventuelles surchauffes, les constructeurs ont imaginé différents systèmes: boucles de décharge, capteurs autovidangeables, refroidissement nocturne, circuit sous haute pression pour éviter l'ébullition du liquide caloporteur, ou autre procédé permettant d'éviter toute dégradation du matériel.

# CHAPITRE II

## NOTIONS DE TRANSFERT DE CHALEUR

## II.1.INTRODUCTION

L'objectif visé dans ce chapitre consiste à faire des rappels théoriques sur les équations du transfert thermique et les lois physiques de base qu'on peut utiliser dans le dimensionnement des mécanismes du système de chauffage par dalle chauffante et établir un bilan thermique d'une maison individuelle afin de calculer les différentes déperditions thermiques dans les conditions de base correspondantes au confort et au milieu extérieur.

## II.2.GENERALITES SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR

### II.2.1. Introduction :

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final [4].

### II.2.2.Définitions : [4]

#### II.2.2.1.Champ de température :

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température :  $T = f(x,y,z,t)$ . La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire.

#### II.2.2.2.Flux de chaleur :

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps:

$$q = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{II.1})$$

Q : la quantité de chaleur transmise sur S ;

t : le temps.

### II.2.3.Bilan d'énergie : [4]

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être:

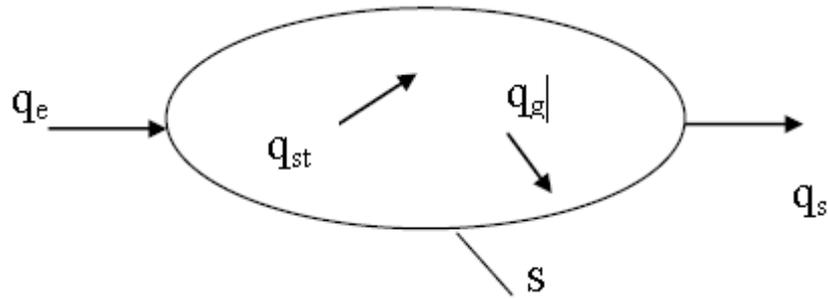


Fig. II.1: système et bilan énergétique

$Q_{st}$ : flux de chaleur stocké

$Q_g$  : flux de chaleur généré dans le système S

$Q_e$  : flux de chaleur entrant

$Q_s$  : flux de chaleur sortant

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$q_e \pm q_g = q_s + q_{st} \quad (\text{II.2})$$

#### ➤ *Stockage d'énergie*

Le stockage d'énergie dans un corps correspond à une augmentation de son énergie interne au cours du temps d'où (à pression constante et en l'absence de changement d'état) :

$$q_{st} = \rho * V * C_p * \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

$Q_{st}$  : Flux de chaleur stocké (W) ;

$\rho$  : masse volumique (kg m<sup>-3</sup>) ;

$V$  : Volume (m<sup>3</sup>) ;

$C_p$ : Chaleur spécifique (J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) ;

$T$  : Température (°C) ;

$t$  : Temps (s).

#### ➤ *Génération d'énergie*

Elle intervient lorsqu'une autre forme d'énergie (chimique, électrique, mécanique, nucléaire) est convertie en énergie thermique. On peut l'écrire sous la forme : [4]

$$q_g = q * V \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$Q_g$  : Flux d'énergie thermique générée (W) ;

$q$ : Densité volumique d'énergie générée (W m<sup>-3</sup>) ;

$V$  : Volume (m<sup>3</sup>).

## II.2.4.Expression des flux d'énergie : [4]

### II.2.4.1.Conduction :

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

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

$$q = -\lambda * s * \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{Flux de chaleur monodirectionnel suivant } x) \quad (\text{II.5})$$

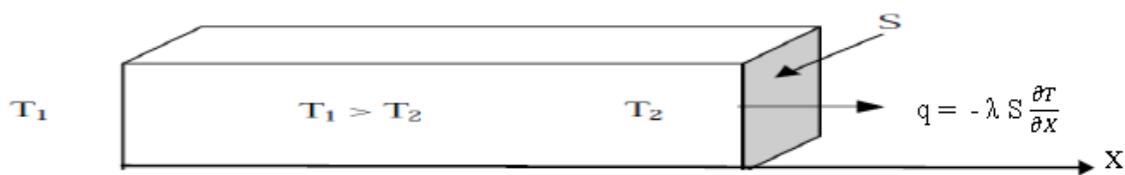
Avec :

**Q** : Flux de chaleur transmis par conduction (W) ;

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) ;

**X** : Variable d'espace dans la direction du flux (m) ;

**S** : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $\text{m}^2$ ).



**Fig. II.2: Schéma du transfert de chaleur conductif**

Si la température n'est pas une fonction de « X » la formule de Fourier peut s'écrire aussi :

$$q = -\lambda * s * \frac{\Delta T}{\Delta X} = -\lambda * s * \frac{T2-T1}{e}$$

avec

$$R = \frac{\lambda}{e * s}$$

$$R'' = \frac{e}{\lambda}$$

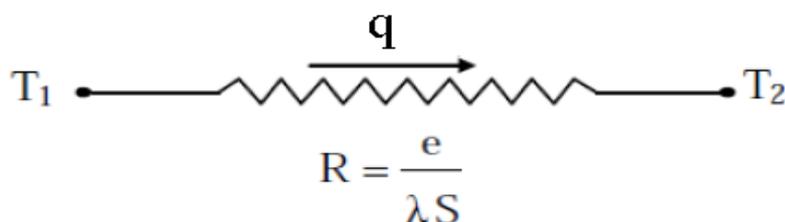
Donc on peut écrire que :

$$q = \frac{T2-T1}{e*s} \quad (\text{II.6})$$

➤ **Analogie électrique**

La relation de Fourier est analogue à la loi d'Ohm en électricité qui définit l'intensité du courant comme le rapport de la différence de potentiel électrique sur la résistance électrique.

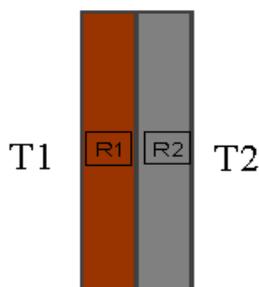
La température apparaît ainsi comme un potentiel thermique et le terme apparaît comme la résistance thermique d'un mur plan d'épaisseur « e », de conductivité thermique  $\lambda$  et de surface latérale S. On se ramène donc au schéma équivalent représenté sur la figure II.3.



**Fig. II.3: Schéma électrique équivalent d'un mur simple**

➤ **Resistance équivalente**

On prend un mur maintenu à deux températures T1 et T2 constitué de deux couches disposées en série comme les montre la figure suivante :



**Fig. II.4 : couches de mur disposées en série**

Les couches 1 et 2 ont des résistances thermiques qu'on désigne par R1 et R2 respectivement donc le système électrique équivalent est comme le montre cette figure :



**Fig. II.5 : schéma électrique équivalent**

Le flux  $q$  transféré égale :

$$q = \frac{T1-T2}{Req} \quad (II.7)$$

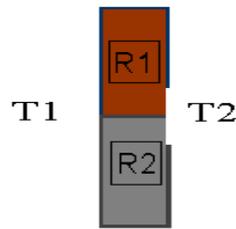
Donc la résistance équivalente s'écrit :

$$Req = R1 + R2$$

Si le mur est constitué de « N » couches :

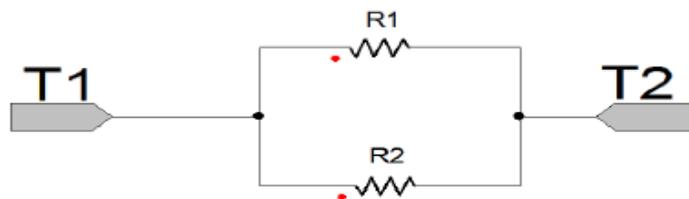
$$Req = R1 + R2 + \dots + Rn \quad (II.8)$$

Maintenant les couches de mur sont disposées en parallèles comme les montre la figure :



**Fig. II.6 : couches de mur disposées en parallèle**

Le schéma électrique équivalent :



**Fig. II.7 : schéma électrique équivalent**

Le flux de chaleur transféré  $q$  de la formule (II.7) égale :

$$q = \frac{T1 - T2}{Req}$$

Donc la Resistance équivalente égale :

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$$

Le mur est constitué de N couches disposées en parallèles donc la résistance équivalente égale :

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{RN} \quad (II.9)$$

#### II.2.4.2. Convection : [4]

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

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

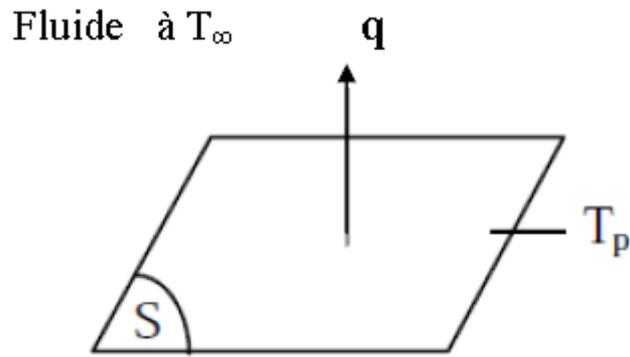


Fig. II.8 : Schéma du transfert de chaleur convectif

$$q = h * S * (T_p - T_{\infty}) \quad (\text{II.10})$$

Avec

$$\frac{1}{R} = h * S$$

Avec :

**q** : Flux de chaleur transmis par convection (W) ;

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

**T<sub>p</sub>** : Température de surface du solide (°C) ;

**T<sub>∞</sub>** : Température du fluide loin de la surface du solide (°C) ;

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

**R** : Résistance thermique du fluide.

### II.2.4.3. Rayonnement : [4]

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide).

Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

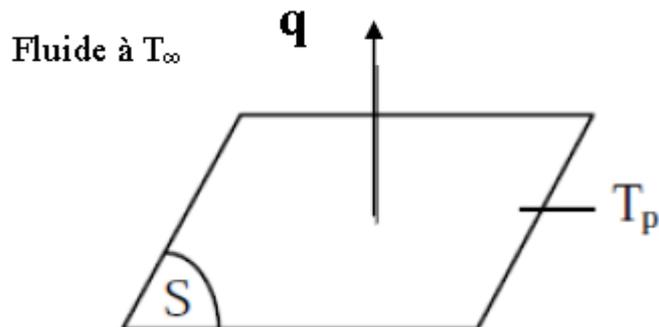


Fig. II.9 : Schéma du transfert de chaleur radiatif

$$q = \sigma * \epsilon_p * S * (T_p^4 + T_{\infty}^4) \quad (\text{II.11})$$

Avec :

$Q$  : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W) ;

$\sigma$  : Facteur d'émission de la surface ;

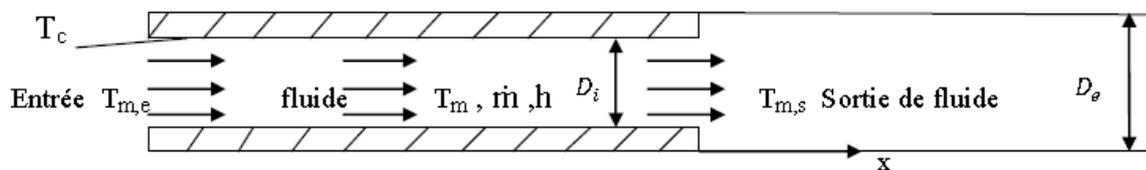
$T_p$  : Température de la surface (K) ;

$T$  : Température du milieu environnant la surface (K) ;

$S$  : Aire de la surface (m<sup>2</sup>).

## II.2.5. Flux de chaleur lié à un débit massique : [5]

Soit une conduite de  $D_i \times D_e$  dans laquelle circule un fluide, à l'entrée le fluide a une température  $T_{m,i}$  et sort à une température  $T_{m,s}$  comme le montre la figure suivante :



**Fig. II.10 : Coupe d'un tube à l'intérieur circule un fluide**

Lorsqu'un débit massique  $\dot{m}$  de matière entre dans le système à la température  $T_{m,e}$  et en ressort à la température  $T_{m,s}$  ( $T_{m,e} > T_{m,s}$ ), on doit considérer dans le bilan un flux de chaleur sortant (perdu) à travers la surface latérale de la conduite correspondant:[5]

$$q = \dot{m} * C_p * (T_{m,e} - T_{m,s}) \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$Q$  : Flux de chaleur entrant dans le système (W) ;

$\dot{m}$  : Débit massique (kg.s<sup>-1</sup>) ;

$C_p$  : Chaleur spécifique (J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) ;

$T_m(x)$  : Température du fluide à un point  $x$  donné de la conduite ;

$T_c$  : Température à l'intérieur de la conduite ;

$D_i, D_e$  : diamètre intérieur et extérieur de la conduite respectivement .

La température  $T_m(x)$  est donnée par la formule suivante : [5]

$$\frac{T_m(x) - T_c}{T_{m,e} - T_c} = \exp \left[ \frac{-P * h(x)}{\dot{m} * C_p} X \right] \quad (\text{II.13})$$

Avec :

$h(x)$  : coefficient de convection de fluide qui dépend de plusieurs paramètres ;

$P$  : périmètre de la conduite.

Remarquons que le produit  $P * h(x)$  représente une résistance thermique par unité longueur donc :

$$R' = \frac{1}{P * h(x)} (K.m.W^{-1}) \quad (\text{II.14})$$

Maintenant la conduite est immergée sous une dalle (plancher) constituée de plusieurs couches avec une température de surface qu'on désigne par  $T_d$ , l'expression de  $T_m(x)$  s'écrit :

$$\frac{T_m(x)-T_d}{T_{m,e}-T_d} = \exp\left[-\frac{-1}{\dot{m} \cdot C_p \cdot R'_{eq}} X\right] \quad (\text{II.15})$$

$$R'_{eq} = \sum R'_{i \text{ couche}}$$

On pose :  $f(x) = \dot{m} C_p R'_{eq}$

Donc :

$$\frac{T_m(x)-T_d}{T_{m,e}-T_d} = \exp\left[\frac{x}{f}\right] \quad (\text{II.16})$$

## II.2.6. Déperditions : [6]

### II.2.6.1. Les déperditions par transmission :

Les déperditions calorifiques par transmission se calculent pour chaque surface de l'enveloppe d'un local, cédant de la chaleur par convection, conduction et rayonnement.

Les parois de construction d'une maison ou d'un local sont différentes en épaisseurs (murs, portes, fenêtres et dalles). Le flux totale sortant de ces parois est égal à la somme algébrique des flux traversant ces parois.

Soit « S » la surface d'une paroi, séparant le local avec le milieu extérieur, le flux de déperdition par transmission à travers cette paroi est donné par la formule suivante tirée de la loi de Fourier :  
[6]

$$q_T = K * S * (T_i - T_e) \quad (\text{II.17})$$

Avec :

**K** : Coefficient de transmission de la paroi (W/m<sup>2</sup> °C) ;

**T<sub>i</sub>** : Température de base intérieure (°C) ;

**T<sub>e</sub>** : Température de base extérieur (°C).

### II.2.6.2. Déperditions par infiltration :

La cause de ces déperditions est due à la différence entre la quantité de chaleur apportée par l'air froid qui s'infiltré dans le local et la quantité de chaleur emportée par l'air qui sort. Les déperditions par infiltration concernent les portes et les fenêtres, l'équation régissant celle-ci est donnée par : [6]

$$q_I = \sum_{k=0}^n (a L) * C * H * (T_i - T_e) * (1 + Z_E) \quad (\text{II.18})$$

Avec :

**a** : Perméabilité du joint (W/m °C) ;

**L** : Longueur du joint (m) ;

**C** : Constante du local (R=0,9) ;

**H** : Constante d'immeuble (H=0,58),

**Z<sub>E</sub>** = 0 sauf lorsque la fenêtre est placée dans un angle on prend Z<sub>E</sub> = 0,2.

### II.2.6.3. Déperditions globales (coefficient GV) : [7]

Le coefficient **GV** d'un logement est égal à ses déperditions thermiques, pour un degré d'écart entre les températures intérieures et extérieures c'est-à-dire  $T_i - T_e = 1^\circ\text{C}$ , donc on a :

$$\begin{aligned} q_{tot} &= q_T + q_I \\ G V &= q_{tot} / \Delta T \end{aligned}$$

$$G = q_{tot} / (\Delta T * V) \quad (\text{II.19})$$

Avec :

**G** : coefficients des déperditions volumique ( $\text{W}/\text{m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ;

**V** : volume habitable.

### II.2.6.4. Déperditions dans un lieu donné pour la période hivernale: [7]

Les déperditions thermiques dans une journée donnée se calculent comme suit :

$$G = GV * (T_i - T_e) * 24 \quad (\text{II.20})$$

Pour qu'on puisse connaître toutes les déperditions thermiques durant toute la période hivernale, on doit faire intervenir la notion des degrés-jours, autrement dit mesurer jour par jour l'écart entre la température ambiante prise à  $21^\circ\text{C}$  et la température moyenne minimale extérieure heure par heure, pour cela le nombre de degré du jour se calcule comme suit :

$$Ndj = \sum_{i=1 \text{er Nov}}^{31 \text{ Mars}} \left( 20 - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \quad (\text{II.21})$$

## II.3. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré pour la présentation des lois de transfert thermique et aussi donner les lois de déperditions afin de calculer le bilan thermique hivernal d'une maison individuelle.

# CHAPITRE III

## DESCRIPTION DES ELEMENTS DE L'INSTALLATION

### III.1.INTRODUCTION

Les rayonnements solaires sont apprivoisés de deux manières différentes, l'une permet l'acquisition d'électricité directe (capteur à cellule photovoltaïques ou photopile), l'autre sous forme d'énergies calorifiques au moyen d'un fluide caloporteur (capteur thermique).

L'énergie issue des capteurs photovoltaïques étant faible (rendement de 10% par rapport à l'énergie transmise); et du fait de conversion d'énergie pour l'obtention de calorie (effet joule), nous allons nous intéresser aux capteurs thermiques dont le rendement est supérieur à celui des photopiles et permet l'exploitation directe de l'énergie calorifique produite, ensuite on donne les lois qui régissent le dimensionnement des autres éléments de l'installation de chauffage solaire par dalle chauffante.

### III.2: PRINCIPE DU CHAUFFAGE SOLAIRE D'UNE MAISON PAR DALLE CHAUFFANTE

Il existe plusieurs types de chauffages qui permettent de faire des économies et de ne pas détruire la nature, parmi lesquels le chauffage solaire par dalle chauffante occupe une place très importante. Son principe de fonctionnement est relativement simple il consiste à capter l'énergie solaire avec des capteurs solaires thermiques et la communiquer sous forme de chaleur au fluide caloporteur qu'on va faire circuler par une pompe et transporter cette chaleur vers la dalle chauffante qui va jouer un double rôle (stockage et diffusion de la chaleur à travers la pièce à chauffer). Dans le cas d'insuffisance d'ensoleillement, on prévoit un chauffage d'appoint qui va communiquer au fluide caloporteur une chaleur additionnelle qui va palier au problème avec un régulateur de chaleur .

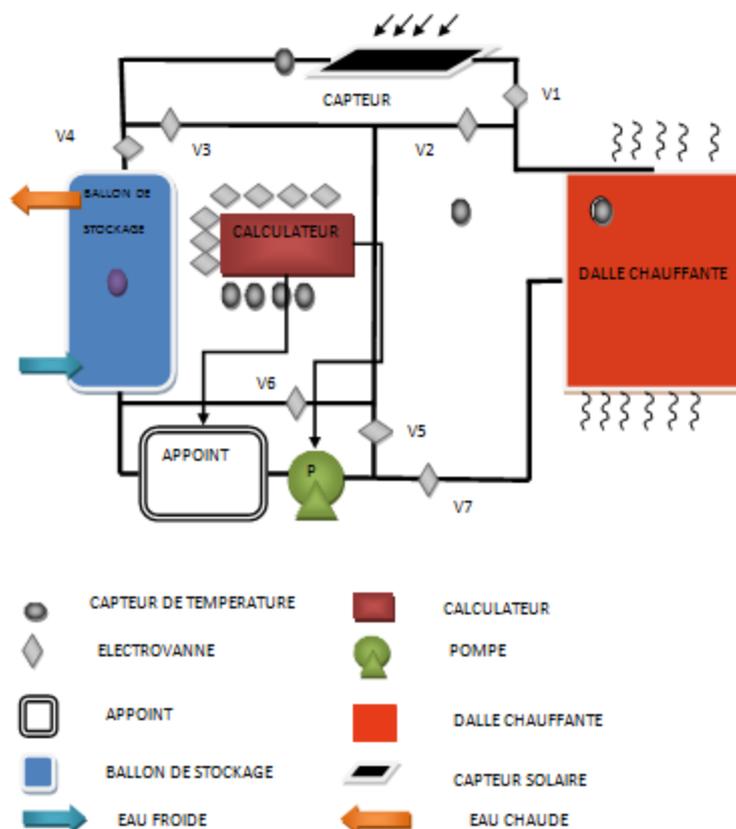


Fig. III.1: schéma de principe

### **III.3. DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES [8]**

Les capteurs solaires thermiques sont des éléments essentiels pour les installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. La plupart des capteurs sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évite le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ». Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction.

#### **III.3.1. Capteur sans vitrage :**

C'est le modèle le plus rustique et également le plus économique. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) dans laquelle circule le liquide à réchauffer.



**Fig. III.2: Capteur sans vitrage**

Le principal domaine d'utilisation de ce capteur est le chauffage des piscines de plein air. Celles-ci sont le plus souvent utilisées en été, lorsque la température ambiante et le rayonnement solaire sont élevés. Dans ces conditions, l'efficacité des capteurs est très bonne.



**Fig. III.3: Installation de production d'eau chaude sanitaire**

### **III .3.2.Capteurs vitrés : [8]**

Les capteurs munis d'une couverture transparente, souvent appelés « capteurs vitrés », sont les plus utilisés, car ils correspondent au domaine d'application le plus courant: le chauffage de l'eau sanitaire et le chauffage d'une maison. La température d'utilisation est en général inférieure à 70°C.

Plus rarement, certains d'entre eux, munis d'une couverture transparente de type « double vitrage », permettent d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100°C, avec leurs température de fonctionnement élevée les « capteurs vitrés » sont efficaces pour les installations de chauffage solaire d'une maison par dalles chauffantes.

Le capteur vitré est constitué de différents composants :

- Le coffre ;
- L'isolation thermique ;
- L'absorbeur ;
- La couverture transparente ;
- Le fluide caloporteur.

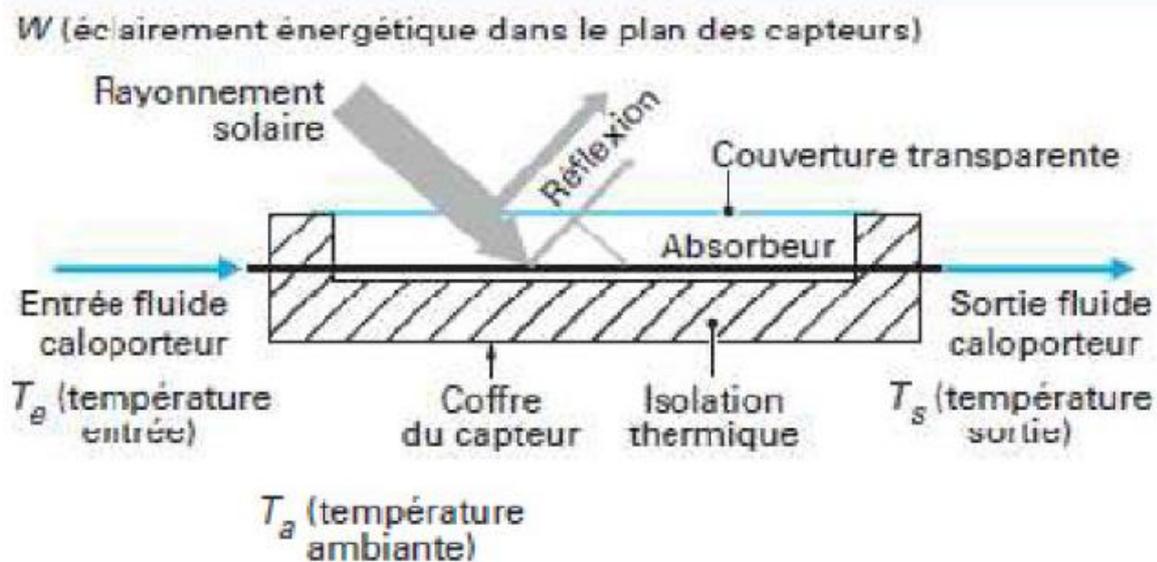


Fig. III.4: Coupe d'un capteur vitré [8]

### III.3.3. Capteur sous vide : [8]

Lorsque la température de fonctionnement du capteur est très élevée ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ) ou lorsque la température ambiante est faible (région de montagne), il est intéressant d'utiliser un capteur solaire dit « sous vide », qui se présente sous la forme de tubes de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres) dans lesquels sont disposés les absorbeurs, de conception identique à celle d'un capteur plan. L'intérieur du tube est vidé de l'air qu'il contient et des pertes par convection entre l'absorbeur et la paroi vitrée du tube sont ainsi supprimées. Le capteur sous vide voit ainsi ses déperditions limitées au rayonnement infrarouge. Pour limiter les effets de celui-ci, la surface de l'absorbeur possède un revêtement « sélectif ». (Fig. III.7 et .8).



Fig. III.7: Capteur sous vide

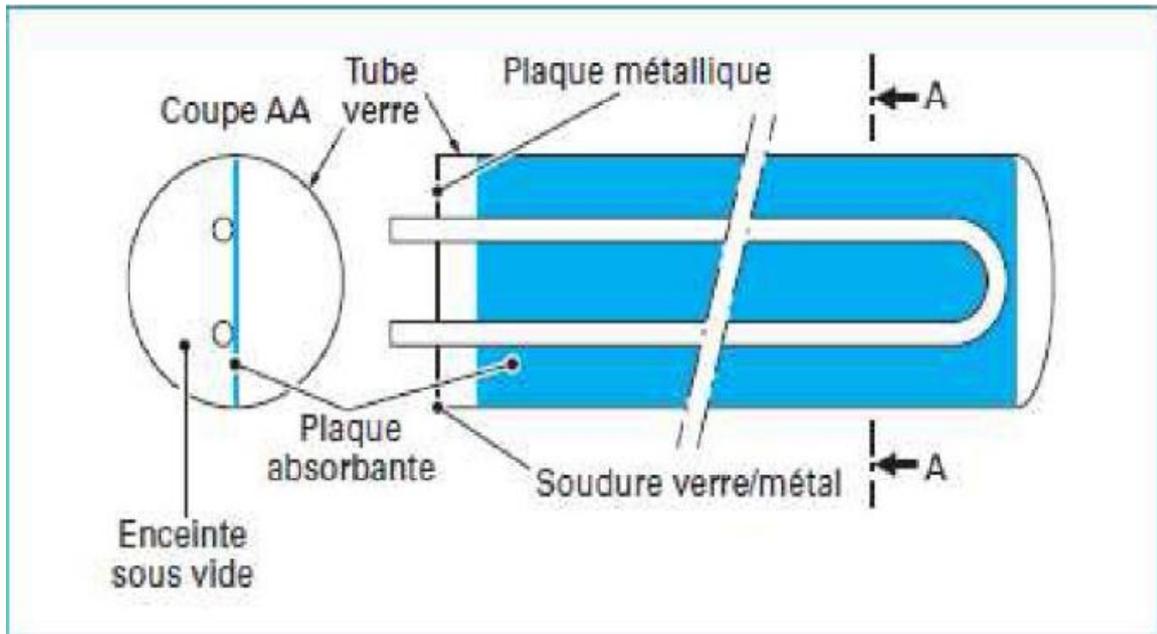


Fig. III.8: Coupe d'un capteur sous vide

### III.3.4. Les capteurs à tube sous vide à effet thermos :

Ici, l'absorbant n'est pas dans le tube, mais glissé dans l'espace interne d'un tube double enveloppe en verre. Ainsi, la soudure verre-métal, toujours délicate, est évitée. Le tube intérieur comporte le revêtement sélectif. Ce type de capteur est majoritairement fabriqué et installé en Chine.



Fig. III.9: Schéma d'un capteur à tube sous vide à effet thermos [14]

### III.3.5. Les capteurs-stockeurs :

Les capteurs stockeurs, comme leur nom l'indique, sont des ensembles qui cumulent les fonctions de captage et de stockage de l'énergie solaire. Le mur "Trombe" est une application connue de ce principe.

La fonction de stockage permet une autonomie de l'ordre de la journée et se fait dans des matériaux ayant une forte capacité thermique. Ces capteurs, souvent artisanaux, sont relativement peu répandus et servent principalement pour la production d'eau chaude sanitaire ou le chauffage des maisons (mur Trombe). On trouve également certains capteurs qui fonctionnent comme un plancher chauffant "à l'envers" : une dalle en béton capte et accumule l'énergie solaire et la restitue à un fluide caloporteur circulant dans des tubes noyés dans le béton.

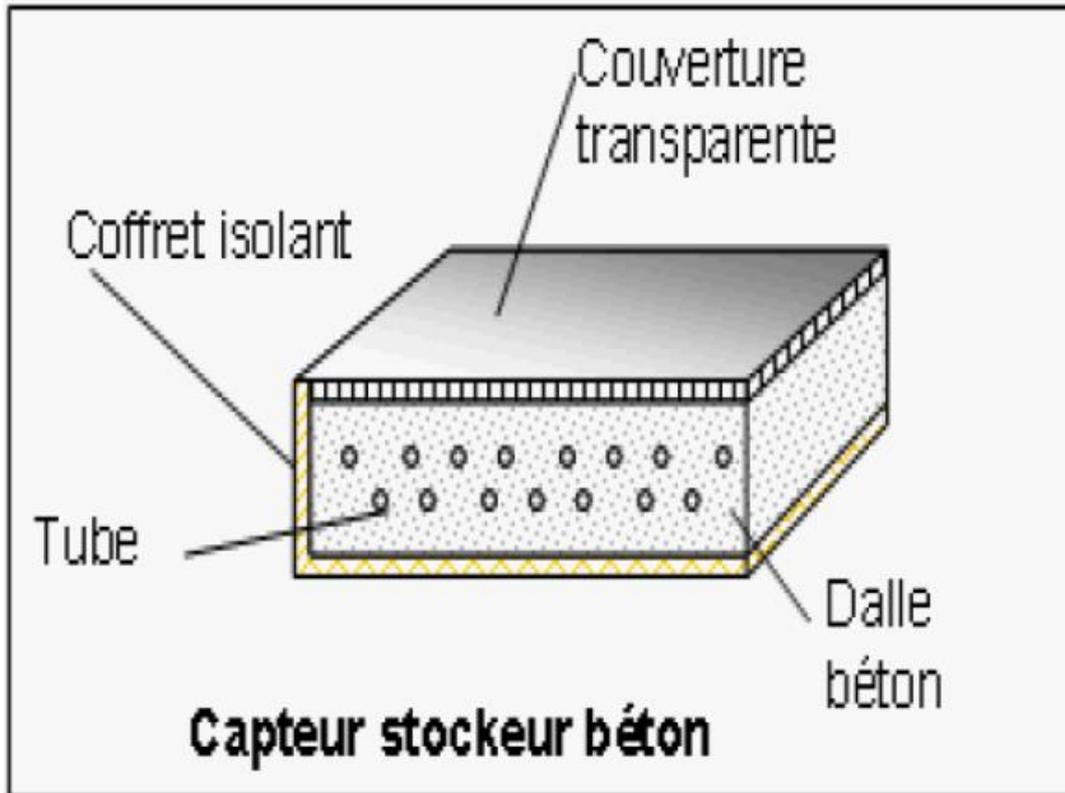


Fig. III.10: capteurs stockeurs

### III.3.6. Les capteurs plans vitrés : [1]

Les capteurs plans vitrés sont les éléments fondamentaux de la transformation de l'énergie solaire en énergie thermique à basse température. Sans concentration du rayonnement solaire, le flux d'énergie tombant sur une surface située au niveau de la mer ne peut guère dépasser 1KW/m<sup>2</sup>. Cette valeur ne permet pas d'atteindre des températures supérieures à 100°C. Ces capteurs plans sont principalement utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire, le chauffage des habitations, le séchage....etc. (Figure. I.3)

#### III.3.6.1. Bilan thermique d'un capteur plan : [8]

Le bilan thermique d'un capteur traduit la relation entre le flux absorbé et le flux emmagasiné tenant compte des pertes par convection et rayonnement. On écrit :

$$\Phi = \Phi_u + \Phi_a + \Phi_t \quad \text{(III.1)}$$

$\Phi$  : énergie absorbée par le capteur (W).

$\Phi_u$  : énergie emmagasinée dans le fluide caloporteur (énergie utile).

$\Phi_a$  : énergie perdue vers l'extérieur par convection et rayonnement.

$\Phi_t$  : énergie de démarrage nécessaire à la montée de température du capteur.

### III.3.6.2. Rendement du capteur plan : [8]

Le rendement d'un capteur solaire dépend de :

- la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur,
- le flux solaire incident,
- les données climatiques propres au site (température et vitesse du vent),
- les caractéristiques géométriques et les propriétés physiques des éléments le constituant.

Sa formule est donnée comme suit :

$$\eta = \eta_0 \frac{K}{G} (T_p - T_a) \quad \text{(III.2)}$$

Avec :

$\eta$  : rendement optique du capteur ;

K: coefficient de transmission surfacique en  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$  ;

G: éclairement solaire en  $W/m^2$  ;

$T_p$  : Température de la paroi ;

$T_a$  : Température de l'air.

### III.3.6.3. Courbe de rendement des capteurs plans :

La courbe (Fig.III.12) représente les rendements des capteurs à tubes sous-vide, plan vitré et non vitré :

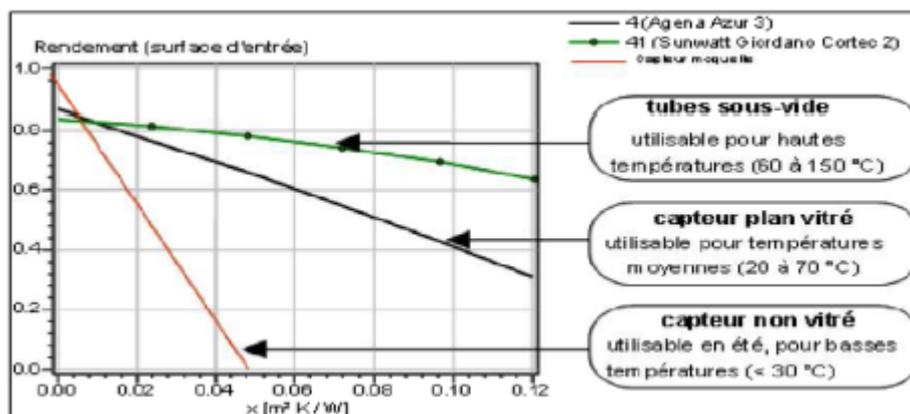


Fig. III.12: courbe de rendement des capteurs plans [8]

## III.4. LES TYPE DES POMPES UTILISEES [12]

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

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

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

### **III.4.1.Les pompes centrifuges : [12]**

#### **III.4.1.1.Principe de fonctionnement :**

Une pompe centrifuge est constituée par:

Une roue à aubes tournant autour de son axe

- un distributeur dans l'axe de la roue
- un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

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

L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie [12].

#### **III.4.1.4.Utilisation : [12]**

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

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

- utilisation de liquides visqueux: la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).
- utilisation comme pompe doseuse: la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

## **III.5.LE CHAUFFAGE D'APPOINT**

Le chauffage solaire a lui tout seul ne peut pas assurer le chauffage d'une maison par dalle chauffante dans les jours non ensoleiller et très froids c'est pour cette raison qu'on a besoin d'installer un deuxième système de chauffage pour compenser la différence dans de tels jours.

### III.5.1. Les différents dispositifs de chauffage d'appoint :

- Le chauffage au gaz (gaz naturel; propane)
  
- Le chauffage par pompe à chaleur
- Le chauffage au fioul
- Le chauffage par résistance électrique

On va s'intéresser au chauffage le plus économique à savoir le chauffage par pompe à chaleur et au gaz:

#### III.5.1.1. La pompe à chaleur (PAC) : [12]

La **pompe à chaleur (PAC)** est un dispositif de transfert de chaleur à l'aide d'un **fluide frigorigène** dont la propriété principale est, à basse pression (à l'état gazeux), de capter la chaleur du milieu où il se trouve, puis de restituer cette chaleur dès qu'on le comprime. Une pompe à chaleur fonctionne schématiquement de la façon suivante (fig. II.19.20) :

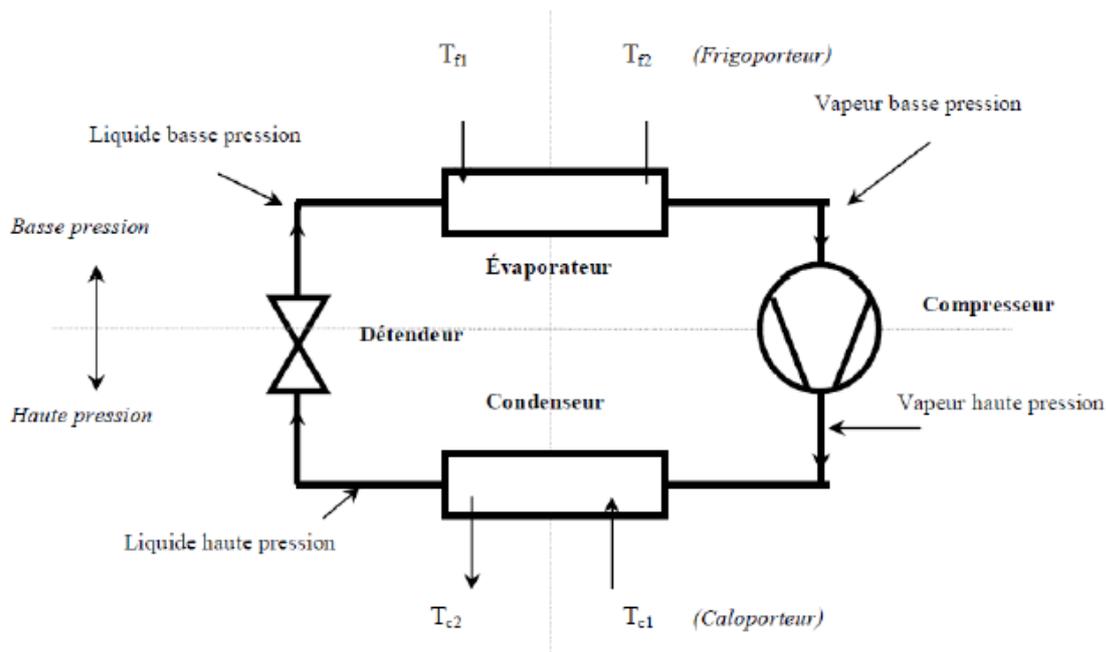


Fig. III.13: Schéma de principe de la pompe à chaleur à compression de vapeur [17]

#### III.5.1.2. Chauffage à Gaz :

Le chauffage à gaz est un système de chauffage qui utilise une chaudière pour brûler du gaz de ville et ainsi récupérer l'énergie thermique issue du processus de combustion de ce gaz et il utilise aussi une pompe de circulation pour transférer la chaleur produite vers le ballon de stockage ou le circuit de chauffage directement, ces dernières années on a vu une multitude de chaudières qui sont conçus de façon à augmenter le rendement, réduire les émissions de NOx et de CO2 comme les chaudières à ventouses ou les chaudières à accumulation.



**Fig. III.16 : chaudière à ventouse [18]**

➤ **Description du fonctionnement de la chaudière à gaz**

La chaudière à gaz s'allume par une étincelle produite par un allumeur piézoélectrique pour allumer la bougie en actionnant la vanne qui va faire passer le gaz qui s'enflammera au contact de l'air et de l'étincelle ensuite tout en gardant la vanne de la bougie ouverte on actionne la vanne du bruleur qui va faire passer le gaz et s'enflamme au contact de l'air et de la flamme de la bougie et le bruleur s'allume. Des dispositifs de régulation sont envisagés leur fonction est de rendre l'ouverture de la vanne de bruleur en fonction de la température désirée.

### **III.6.PLANCHER CHAUFFANT [13]**

Il existe deux types de planchers chauffants :

- le plancher chauffant relié a un système de chauffage centralisé véhiculant un fluide caloporteur, système qui peut être réversible.
- le plancher chauffant électrique fonctionnant avec un câble électrique qui se comporte comme une résistance placée sous le plancher.

#### **III.6.1.Système de chauffage par le sol à eau chaude :**

Un plancher chauffant est un système de chauffage par le sol ou les tubes transportant de l'eau avec ou sans additif comme fluide chauffant sont noyés dans le plancher.

Une installation de chauffage par le sol comprend un plancher chauffant, des distributeurs et des équipements de régulation [13].

Un plancher chauffant est composé de :

- une couche d'isolation thermique et phonique ;
- une couche de protection de la couche d'isolation ;
- des tubes de chauffage ou des sections planes ;
- Une couche de répartition et d'émission thermique (dalle) ;
- un revêtement de sol.

Le support, quelle que soit sa nature, béton ou autres matériaux, n'est pas inclus dans le complexe « plancher chauffant ».

On distingue les panneaux chauffants en fonction du système porteur des planchers et de leur association avec ces planchers. Ainsi la réglementation distingue deux types de complexes de planchers chauffants à eau chaude : **[13]**

- les planchers chauffants à eau chaude en dalle désolidarisée isolée.
- les planchers chauffants à eau chaude en autres dalles que les dalles désolidarisées isolées.

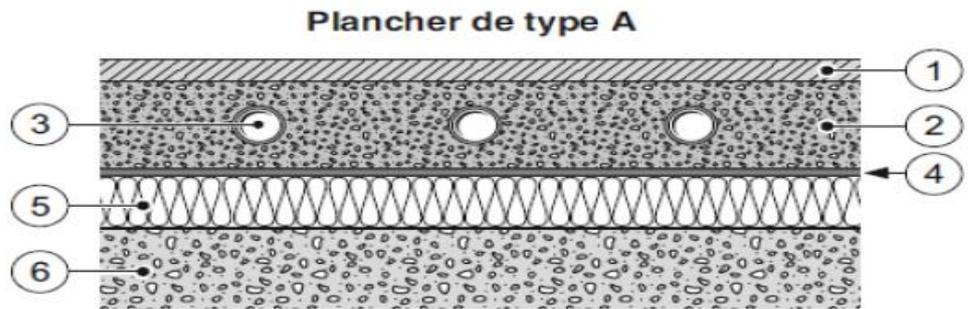
On donne les principales définitions suivantes :

- dalle désolidarisée : dalle d'épaisseur uniforme, rendue indépendante du plancher support et des murs par l'interposition de matériaux de faible épaisseur ;
- dalle pleine : le plancher est constitué par une dalle pleine en béton armé d'épaisseur uniforme ; cette dalle peut être coulée en une seule fois ou en deux fois lorsqu'il s'agit d'un système de pré-dalle ;
- plancher à dalles alvéolées : plancher constitué à partir d'éléments préfabriqués (dalles alvéolées) en béton précontraint
- on appelle dalle collaborante rapportée une dalle en béton armé entièrement coulée en œuvre sur la surface des dalles alvéolées ;
- plancher nervure : plancher constitué de poutrelles et d'entrevous (béton, polystyrène, terre cuite, etc.) recevant une dalle de compression qui constitue la membrure supérieure comprimée du plancher ;
- pré-dalle : plaque préfabriquée en béton armé ou précontraint destinées à former la partie inférieure armée d'un plancher.

L'épaisseur du béton de complément coulé en œuvre est au moins égale à celle de la pré-dalle.

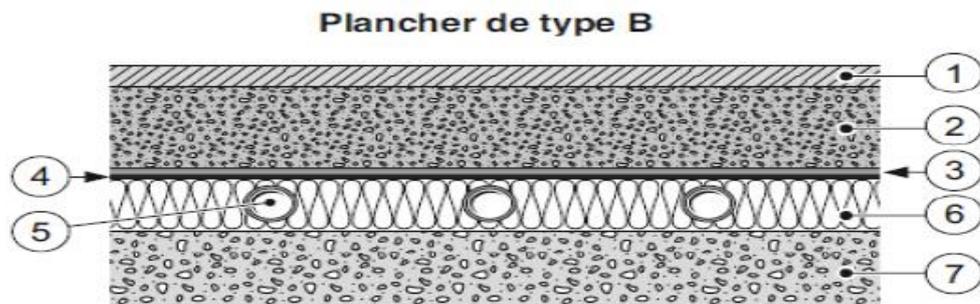
Il existe trois types de structures de plancher chauffant :

- avec tubes dans la dalle de type A et C : les tubes chauffants sont totalement ou partiellement noyés dans la dalle ;
- avec tubes sous la dalle type B: les tubes chauffants sont placés dans la couche d'isolant thermique sous la dalle ;
- avec sections planes : c'est un système avec circulation parallèle ou croisée dans une section creuse installée sur toute la surface.



<i>Termes utilisés dans la norme NF EN 1264-1</i>	<i>Termes utilisés en France</i>
1 - Revêtement de sol	1 - Revêtement de sol
2 - Dalle	2 - Couche d'enrobage
3 - Tube chauffant	3 - Tube chauffant
4 - Couche de protection	4 - Couche de protection
5 - Couche d'isolation	5 - Sous-couche d'isolation plane
6 - Plancher porteur	6 - Support

**Fig. III.21: Plancher de type A [13]**



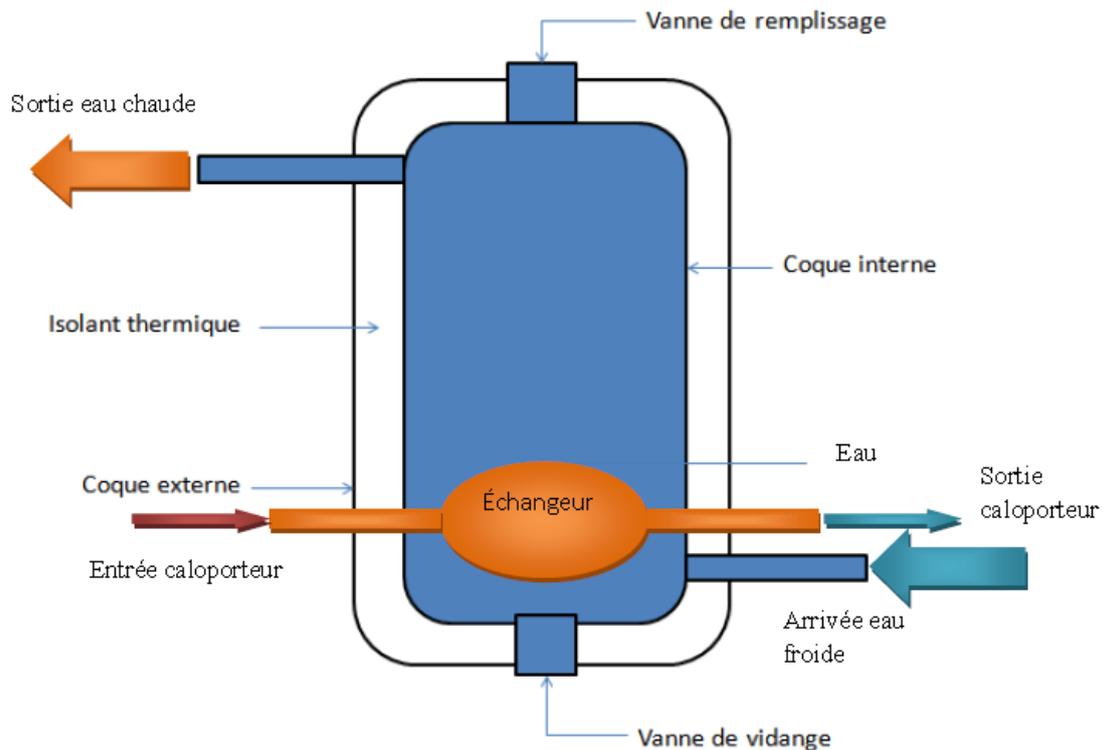
<i>Termes utilisés dans la norme NF EN 1264-1</i>	<i>Termes utilisés en France</i>
1 - Revêtement de sol	1 - Revêtement de sol
2 - Dalle	2 - Couche d'enrobage
3 - Couche de protection	3 - Couche de protection
4 - Diffuseur	4 - Diffuseur
5 - Tube chauffant	5 - Tube chauffant
6 - Couche d'isolation	6 - Sous-couche d'isolation plane
7 - Plancher porteur	7 - Support

**Fig. III.22: plancher de type B [13]**

### **III.7. BALLON DE STOCKAGE**

En plus des stockages de chaleur qu'offre la dalle chauffante on peut prévoir un deuxième système de stockage pour augmenter la capacité de l'installation à stocker de la chaleur ,on remarque que pour stocker la chaleur on a besoin d'utiliser une substance qui possède une chaleur spécifique élevée et on remarque que l'eau remplie cette condition donc l'utilisation d'un ballon de stockage calorifugé remplie d'eau est une solution très pratique vue que l'eau est utilisée comme fluide caloporteur on peut directement utiliser cette eau ou ajouter un antigel si la température extérieur est trop basse.

#### **III.7.1.Principe de fonctionnement :**



**Fig.III.24 : Schéma de principe d'un ballon de stockage de chaleur**

Le ballon de stockage de chaleur possède un échangeur dans lequel entre le fluide caloporteur chaud et sort froid il est composé aussi d'une vanne de vidange dans le cas où on veut changer l'eau stockée dans le ballon ou simplement on veut enlever les saletés de ce dernier et d'une vanne de remplissage dans le cas où on veut remplir le ballon de stockage avec de l'eau.

Il est aussi composé d'une coque externe qui le protège des éventuels chocs et d'une coque interne qui contient l'eau séparée par un isolant thermique et ce dernier a un rapport direct avec le temps de stockage à chaque fois que l'isolant thermique est meilleur on aura un temps de stockage long et pour un isolant thermique de mauvaise qualité les déperditions de chaleur vont augmenter et par conséquent on aura un temps de stockage réduit.

### **III.8.REGULATEUR DE CHAUFFAGE [6]**

Le régulateur de chauffage est un système qui régule la température de la pièce à chauffer et dans le chauffage où on utilise un chauffage d'appoint le régulateur actionne ce dernier pour apporter de la chaleur additionnelle dans le cas où le chauffage économique ne suffit pas.

### **III.9.CONCLUSION**

Ce chapitre a permis de présenter en détail les différents capteurs thermiques ainsi que le principe de fonctionnement de ces éléments et les paramètres influençant leurs rendements, en outre on a même présenté les lois mathématiques concernant le dimensionnement des autres éléments constituant tous le système de l'installation du chauffage solaire d'une maison par dalle chauffante.

# CHAPITRE IV

## CALCUL DES DEPERDITIONS

## IV.1.INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est précisément d'évaluer certains paramètres d'un tel système pour une habitation individuelle de taille moyenne implantée dans la région de Dellys et de faire un bilan détaillé concernant les déperditions thermiques.

Rappelons que notre habitation se constitue de deux chambres, d'une salle de bain, d'une cuisine, et d'un salon.

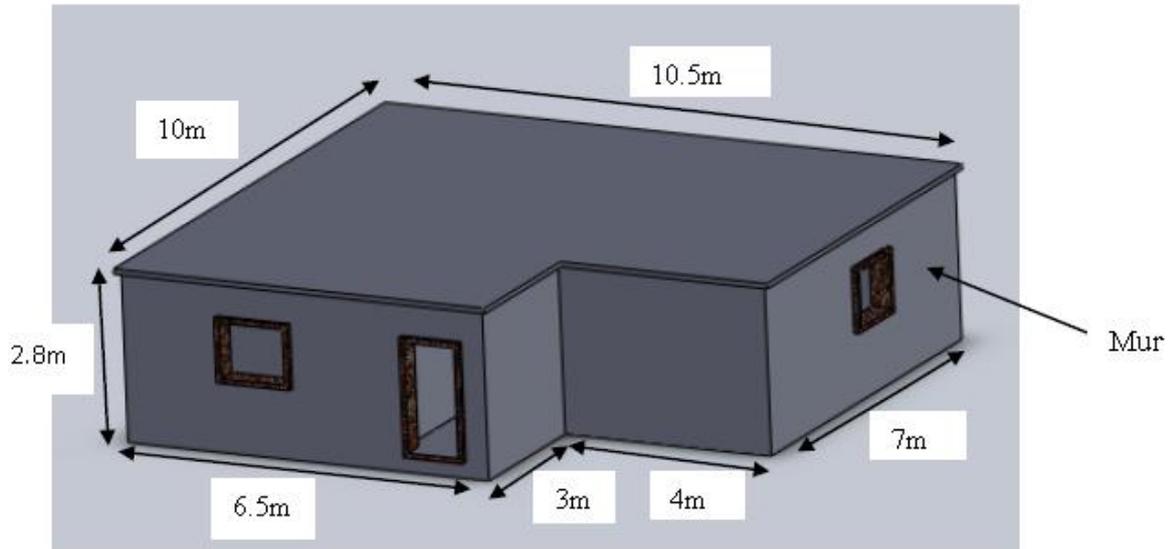


Fig. IV.1: Dimensions de la Maison F3 située à la région de Dellys

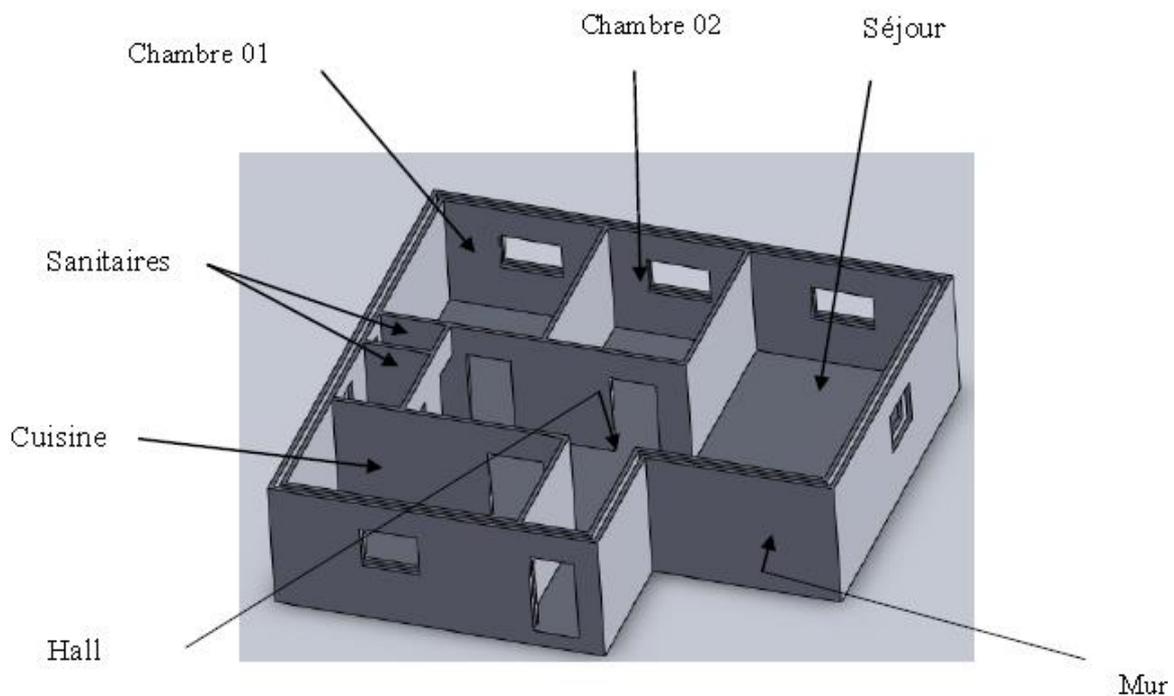


Fig. IV.2: coupe de dessus de la Maison F3

## IV.2.PRESENTATION

### IV.2.1.Description de la maison :

La maison pour laquelle on fait notre étude est une maison individuelle d'une surface de 93m<sup>2</sup> de construction habituelle.

#### ❖ Position géographique

Latitude ( $\varphi$ ) : 36°54' Nord

Longitude ( $\lambda$ ) : 3°54' Est

Albédo (a) : 0,2

Altitude (Alt) : 63m

Exposition au vent : Moyen

Exposition à l'ensoleillement : Moyen

### IV.2.1. Paramètres climatiques et thermodynamique :

#### ❖ Condition de base

Tableau IV.1: Paramètres climatiques

	Température (C°)
Intérieur	21
Extérieur	3

### IV.2.2. Paramètres thermiques : [6]

Les coefficients de convection intérieur et extérieure de l'air à respectivement à 21°C et 3°C sont :

$h_i = 7 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$  et  $h_e = 15 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$

#### ❖ Constitution des murs extérieurs

Tableau IV.2: constitution des murs extérieurs

Constituant	e(m)	$\lambda$ (W/m°C)	$R_v$ (m <sup>2</sup> C /W)
Plâtre courant d'enduit	0.01	0.35	0.028
Mortier de ciment	0.01	1.4	0.007
Brique creuse	0.1	0.2	0.5
Lame d'air	0.1	0.16	0.625
Brique creuse	0.1	0.2	0.5
Mortier de ciment	0.01	1.4	0.007

Plâtre courant d'enduit	0.01	0.35	0.028

❖ **Constitution des fenêtres**

**Tableau IV.3: Constitution des fenêtres**

Constituant	e(m)	$\lambda$ (W/m°C)	$R''$ (m <sup>2</sup> °C /W)
Bois léger	0.007	0.35	0.05
Lame d'air	0.07	1.4	0.4375
Vitre	0.004	0.2	0.0028

Surface de la fenêtre  $L \times h = 1,2 \times 1,6 = 1.92$  m<sup>2</sup>

❖ **Constitution de la porte**

**Tableau IV.4: Constitution de la porte**

Constituant	e(m)	$\lambda$ (W/m°C)	$R''$ (m <sup>2</sup> °C /W)
Bois lourd	0.03	0.2	0.15

Surface de la porte  $L \times h = 0.9 \times 2 = 1.8$  m<sup>2</sup>

❖ **Constitution des impostes**

**Tableau IV.5: Constitution des impostes**

Constituant	e(m)	$\lambda$ (W/m°C)	$R''$ (m <sup>2</sup> °C /W)
Vitre	0.004	1.4	0.0028

Surface de l'imposte  $L \times h = 0.3 \times 0.3 = 0.09$  m<sup>2</sup>

❖ **Constitution du plafond (toiture)**

**Tableau IV.6: Constitution du plafond**

Constituant	e(m)	$\lambda$ (W/m°C)	$R''$ (m <sup>2</sup> °C /W)
Pierre très tendres	0.05	0.85	0.058
Béton plain	0.08	1.75	0.045
Entrevous	0.12	0.12	1

Mortier de ciment	0.01	1.4	0.007
Plate d'enduit	0.01	0.35	0.028

### IV.3.CALCUL DES RESISTANCES THERMIQUES DES CONSTITUANTS DE LA MAISON

On peut modéliser notre maison constituée de six murs extérieurs, cinq fenêtres, deux impostes et une porte comme le montre la figure (IV.4):

Le **Mur<sub>1</sub>** constitué de cinq fenêtres ; deux imposte et d'une porte est d'une surface L×H=29.4m<sup>2</sup> et les cinq murs restants, 2, 3, 4, 5,6 ne comportent aucun de ces éléments cités.

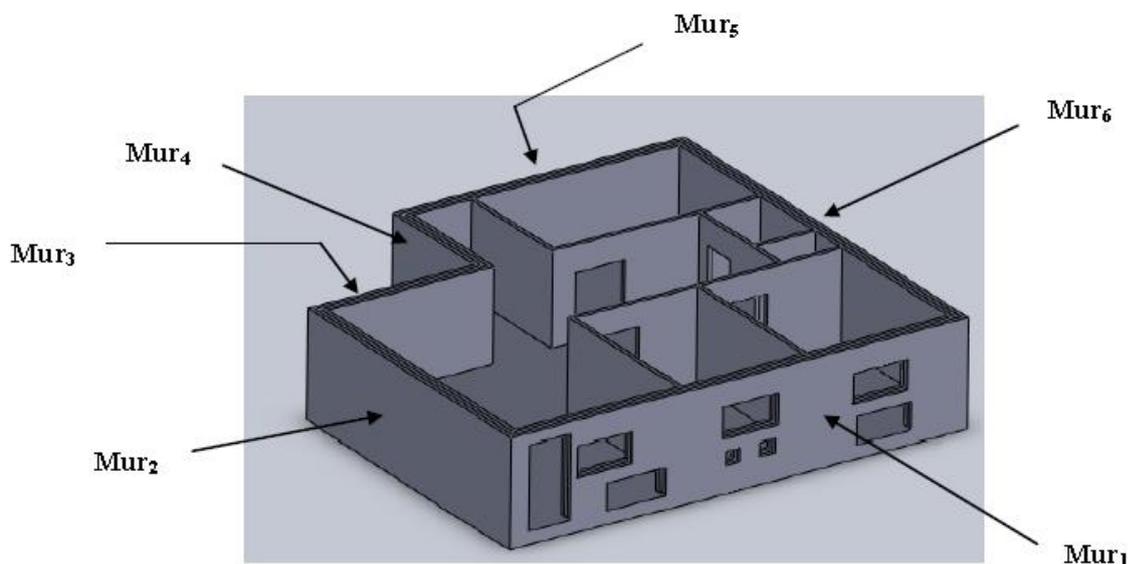


Fig. IV.4: Schéma équivalent de la maison F3

#### IV.3.1. Resistance thermique de Mur<sub>1</sub> $R_{Mur1}$ :

##### ➤ Resistance thermique de mur extérieur

Les résistances de Mur sont en série, de l'équation (II.8) on peut calculer  $R''_{Mur}$  :

$$R''_{Mur} = \sum R''_i$$

$$R''_{Mur} = 0.028 + 0.007 + 0.5 + 0.625 + 0.5 + 0.007 + 0.028 = 1.695 \text{ m}^2\text{C} / \text{W}$$

$$R''_{Mur} = 1.695 \text{ m}^2\text{C} / \text{W}$$

##### ❖ Resistance thermique de la fenêtre :

De l'équation (II.8) on peut écrire aussi pour la fenêtre :

$$R''_{fenetre} = \sum R''_i$$

$$R''_{fenetre} = 0.05 + 0.4375 + 0.0028 = 0.49 \text{ m}^2\text{C/W}$$

➤ **Resistance thermique de l'imposte**

$$R''_{imposte} = 0.0028 \text{ m}^2\text{C/W}$$

➤ **Resistance thermique de la porte**

$$R''_{porte} = 0.15 \text{ m}^2\text{C/W}$$

➤ **Resistance thermique du plafond**

De l'équation (II.8) on peut écrire :

$$R''_{plafond} = \sum R''_i$$

$$R''_{plafond} = 0.058 + 0.045 + 1 + 0.007 + 0.028 = 1.138 \text{ m}^2\text{C/W}$$

A partir de calculs précédents des résistances on peut calculer maintenant  $R_{Mur1}$

$$\text{Surface de la porte } S = 1.8\text{m}^2 \Rightarrow R_{porte} = 0.083 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$\text{Surface de la fenêtre } S = 1.92\text{m}^2 \Rightarrow R_{fenetre} = 0.25 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Les cinq fenêtres sont en parallèles, on applique l'équation (II.9) on trouve la résistance équivalente  $R_{\text{eq fenetre}}$  :

$$\frac{1}{R_{eq fenetre}} = \frac{5}{R_{fenetre}} = 20 \text{ W/}^\circ\text{C} \Rightarrow R_{\text{eq fenetre}} = 0.05 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

• Surface de l'imposte  $S = 0.09\text{m}^2 \Rightarrow R_{imposte} = 0.031 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Les deux impostes sont en parallèles l'équation (II.9) nous permet de calculer la résistance équivalente

$R_{\text{eq imposte}}$  :

$$\frac{1}{R_{eq fenetre}} = \frac{2}{R_{fenetre}} = 64.516 \text{ W/}^\circ\text{C} \Rightarrow R_{\text{eq imposte}} = 0.015 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Le reste de la surface de  $Mur1$   $S = 17.82\text{m}^2 \Rightarrow R = 0.095 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Maintenant on peut déduire la résistance thermique de  $Mur1$  donc :

Tous les éléments constituant le  $Mur1$  sont en parallèles de l'équation (II.9) on trouve :

$$\frac{1}{R_{Mur}} = \frac{1}{R_{porte}} + \frac{1}{R_{eq fenetre}} + \frac{1}{R_{eq imposte}} + \frac{1}{R} = 109.13 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$R_{Mur1} = 0.0091 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

#### IV.3.2. Resistance thermique de $Mur2$ $R_{mur2}$ :

La surface de  $Mur2$   $A_2 = 19.6\text{m}^2 \Rightarrow R_{Mur2} = 0.0864 \text{ }^\circ\text{C/W}$

#### IV.3.3. Resistance thermique de $Mur3$ $R_{mur3}$ :

La surface de  $Mur3$   $A_3 = 11.2 \text{ m}^2 \Rightarrow R_{Mur3} = 0.1513 \text{ }^\circ\text{C/W}$

#### IV.3.4. Resistance thermique de $Mur4$ $R_{Mur4}$ :

La surface de **Mur4**  $A_4 = 8.4 \text{ m}^2 \Rightarrow R_{\text{Mur4}} = 0.20 \text{ }^\circ\text{C/W}$

#### IV.3.5. Resistance thermique de Mur5 $R_{\text{Mur5}}$ :

La surface de **Mur5**  $A_5 = 18.2 \text{ m}^2 \Rightarrow R_{\text{Mur5}} = 0.093 \text{ }^\circ\text{C/W}$

#### IV.3.6. Resistance thermique de Mur6 $R_{\text{Mur6}}$ :

La surface de **Mur6**  $A_6 = 28 \text{ m}^2 \Rightarrow R_{\text{Mur6}} = 0.060 \text{ }^\circ\text{C/W}$

#### IV.3.7. Resistance thermique du plafond $R_{\text{plafond}}$ :

La surface du plafond  $A_{\text{plafond}} = 93 \text{ m}^2 \Rightarrow R_{\text{plafond}} = 0.0122 \text{ }^\circ\text{C/W}$

### IV.4. CALCUL DES DEPERDITIONS

#### IV.4.1. Déperdition par transmission :

Les déperditions de chaleur se font à travers les murs et le plafond tandis que le plancher fournit de la chaleur donc on peut trouver à partir de la formule **(II.7)** ou bien de **(II.17)** de transfert de chaleur la puissance perdue pour chaque Mur, avec  $T_i - T_e = 21^\circ\text{C}$ .

**Tableau IV.7: calcul des déperditions par transmission des parois**

Parois extérieures + Plafond	Surfaces $A_i$ ( $\text{m}^2$ )	Resistances $R_{\text{Mur } i}$ ( $^\circ\text{C/W}$ )	Resistances équivalentes $R_{\text{eq } i} = (1/h_i A_i) + R_{\text{Mur } i} + (1/h_e A_i)$ ( $h_i, h_e$ : coefficient d'échange intérieur, extérieur)	Chaleur Perdue $q_i$ (W) = $(T_i - T_e)/R_{\text{eq } i}$
Mur1	29.4	0.0091	0.016	1312.5
Mur2	19.6	0.0864	0.097	216.50
Mur3	11.2	0.1513	0.17	123.53
Mur4	8.4	0.20	0.224	93.75
Mur5	18.2	0.093	0.1045	200.95
Mur6	28	0.060	0.067	313.43
Plafond	93	0.0122	0.0144	1458.33
LA SOMME $q_t = \Sigma q_i$				3719

➤ Nous avons obtenu une puissance calorifique qui vaut : **3719 W** soit **3.719 KW**

#### IV.4.2.Déperditions par infiltration : [8]

La cause de ces déperditions est due à la différence entre la quantité de chaleur apportée par l'air froid qui s'infiltré dans le local et la quantité de chaleur emportée par l'air qui sort. Les déperditions par infiltration concernent les portes et les fenêtres, l'équation régissant celle-ci est donnée par l'équation (II.19).

**Tableau IV.8: perméabilités des constituants de Mur<sub>1</sub>**

Constituant	Perméabilité (W/m°C)	Longueur (m)	Hauteur (m)
Fenêtre	2.02	1.2	1.6
Imposte	1.6	0.3	0.3
Porte	1.8	0.9	2

❖ Dans notre cas  $Z_E=0$  et  $(T_i - T_e) = 21^\circ\text{C}$

**Tableau IV.9: calcul des déperditions par infiltration de la maison**

Constituant	$q_i(\text{W}) = \Sigma (a L) * C * H * (T_i - T_e)$
Fenêtre 1	124
Fenêtre 2	124
Fenêtre 3	124
Fenêtre 4	124
Fenêtre 5	124
Imposte 1	21
Imposte 2	21
Porte 1	114.44
LA SOMME	776.44

❖ Les déperditions par infiltration d'air  $q_i = 776.44 \text{ W}$

$$q = q_T + q_i = 3719 + 776.44 = 4495.44 \text{ W}$$

❖ Pour sur dimensionner la maison on prend un coefficient de correction égal à 1.2 donc :

$$q_{\text{tot}} = 1.2 * q = 5394.53 \text{ W} \quad [\text{A}]$$

Donc :  $q_{tot} = 5.39453 \text{ KW}$

#### IV.5.CALCUL DES BESOINS EN CHAUFFAGE [8]

L'énergie de chauffage nécessaire pour la période de chauffe, qui s'étend du mois de novembre au mois de mars pour une température de chauffe  $T_c = 21^\circ\text{C}$  égale à :

$$Q_e = 0.024 * G V * N_{dj} \text{ (KWh)} \quad (\text{II.20})$$

On a:

$$GV = \frac{q_{tot}}{T} = 256.88 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Les températures moyennes mensuelles et les degrés jour pour la saison de chauffe de 2000 à 2010 sont donnés dans les tableaux IV.10 et IV.11 :

**Tableau IV.10: Relevé des températures moyennes mensuelles pour la saison de chauffe des années : 2001-2002-2003-2004-2005-2006-2007-2008-2009-2010 [].**

Mois	2001 TPm	2002 TPm	2003 TPm	2004 TPm	2005 TPm	2006 TPm	2007 TPm	2008 TPm	2009 TPm	2010 TPm	TPm anneu lle °C
<b>Nov</b>	14	15,2	15,7	13,3	13	17,3	13,6	13,5	15,3	14,3	14,52
<b>Déc</b>	09,2	12,9	10,6	11,5	10,6	12,1	10,6	13,1	15,8	11,2	11,76
<b>Jan</b>	10,8	09,7	10,1	10,6	07,4	09,2	11,4	11	10,8	11,4	09,16
<b>Fév</b>	10,3	11,4	09,3	12,2	07,7	10	13	12,6	10,4	12,8	10,97
<b>Mars</b>	16,8	13,7	13,8	13,6	12,8	14,2	12,3	13	12,7	13,7	13,66

**Tableau IV.11: Les valeurs des degrés jour pour la saison de chauffe de 2000 à 2010.**

Mois	Nov	déc	Jan	Fév	Mars
Température de chauffe $T_c$ ( $^\circ\text{C}$ )	21	21	21	21	21
Température journalière $T_{mj}$ ( $^\circ\text{C}$ )	14,52	11,76	09,16	10,97	13,66
$\Delta T = T_c - T_{mj}$	6.48	9.24	11.84	10.03	7.34

<b>Degré jour (Ndj)</b>	194.4	286.44	367.04	280.84	227.54

-La totalité des degrés jour : **Ndj = 1356.26 °C**

$$Q_e = 0.024 * 256.88 * 1356.26 = 8361.50 \text{ KWh}$$

Finalement L'énergie à fournir pour le chauffage est :

$$Q_e = 8361.50 \text{ KWh}$$

#### **IV .6.CONCLUSION**

Ce chapitre a été consacré au bilan thermique hivernal d'une maison individuelle ainsi que le calcul des besoins en énergie de chauffage.

# CHAPITRE V

## DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

## **V.1.DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION POUR LE CHAUFFAGE DOMESTIQUE**

Les systèmes solaires thermiques peuvent d'une part servir au chauffage domestique. Et d'autre part, peuvent également contribuer à chauffer l'eau sanitaire (souvent en association avec les chaudières existantes).

### **V.1.1.Choix du capteur : [8]**

Il faut choisir le type de capteurs qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire travailler. Bien entendu plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en oeuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés.



**Fig. V.1: Vue principale d'un capteur solaire plan**

### **V.1.2.Caractéristiques générales des capteurs solaires plans (ce type fonctionne sous ensoleillement faible) : [12]**

Capteurs vitrés plans à construction robuste de nouvelle technologie, adaptés à tous les systèmes solaires à circulation forcée. Le mode et les matériaux de construction ont pour résultat une grande absorption des rayons solaires et un rendement en énergie thermique même par période de faible ensoleillement.

Les Capteurs Solaires couvrent tous les besoins des systèmes solaires par des plaques de (2,1 m<sup>2</sup>) avec traitement sélectif en titane ou peinture noire

➤ **Caractéristiques techniques de base**

- Châssis en aluminium anodisé, très endurant aux conditions climatiques extrêmes (forte humidité, régions côtières, etc....).
- Isolation postérieure et latérale très dense (20mm laine de verre et 40mm laine de roche) qui minimise les pertes thermiques, le rendant ainsi idéal pour des régions à basses températures saisonnières.
- Vitre solaire spéciale à micro prismes, très endurante aux chutes de grêles (solar tempered glass).
- Absorbeur en cuivre recouvert d'un traitement sélectif à base de titane, ou peinture noire. Sur demande, les kits peuvent être livrés sur palettes. Le capteur solaire avec traitement sélectif en titane est idéal pour des régions à rayonnement dispersé et basses températures, absorbant jusqu'à 16% de rayonnement en plus durant les mois d'hiver par rapport aux absorbeurs classiques noirs. Le traitement sélectif à base de titane n'est ni toxique ni polluant et maintient une stabilité de ses propriétés optiques et mécaniques même par de très faibles ou très fortes températures.

**V.1.3. Dimensions des capteurs :**

**Tableau V.9 : caractéristiques du système capteur solaire plan MEGASUN [12]**

Type SÉLECTIF	Dimensions (m <sup>2</sup> )	Surface Brute (m <sup>2</sup> )	Surface Nette (m <sup>2</sup> )	Poids (kg)	Capacité (L)	Pression d'essai (bar)	Pression max. de fonctionnement (bar)	Collecteur a	Collecteur e
ST-2000	2050x1010x90	2,10	1,8	43	1,67	10	7	95%±2%	5%±3%

**V.1.4. Rendement du capteur :**

Il dépend de ces caractéristiques géométriques et les propriétés physiques des éléments le constituant, il dépend aussi de la température d'entrée et de sortie, du débit massique, des données climatiques propres au site, et enfin le rayonnement incident. Il est calculé par la formule (III.2) citée dans le chapitre III.

Le tableau suivant nous donne les valeurs du rendement pendant la saison de chauffe et les températures d'entrée et de sortie du fluide :

**Tableau V.10 : Rendement du capteur solaire pendant la saison de chauffe**

Températures	T <sub>mj</sub> = T <sub>a</sub>	T <sub>p</sub>	(k/G)*(T <sub>p</sub> -T <sub>a</sub> )	Rendements
Nov	14,52	30,57	0,0332	0,7468
Déc	11,76	27,1	0,0363	0,7437
Jan	09,16	25	0,0320	0,748

<b>Fév</b>	10,97	25,75	0,0238	0,7562
<b>Mars</b>	13,66	28,9	0,208	0,7592

A partir du tableau, on en déduit que le rendement moyen est égal à 75%.

### V.1.5.Surface de captation : [9]

#### Détermination de la surface de captage nécessaire pour le chauffage :

La surface de captage définie comme étant le rapport d'une part du besoin énergétique journalier exprimé en KWh et d'autre part de l'énergie reçue pendant la journée exprimée en KWh/m<sup>2</sup>J et le rendement du capteur

$$St = \frac{Q_{tot}}{\eta * \phi * 30 \text{ jours}} = \frac{8361,50}{0,75 * 20,55 * 30 \text{ jours}} = 18.08$$

D'où la surface de captage pour le chauffage est égale à **18.08 m<sup>2</sup>**

#### V.1.6.Nombre de capteurs utilisés :

$$N = \frac{St}{S} = 9 \text{ capteurs}$$

La correction de la surface totale du captage sera :  $St = S * N = 2,1 * 9 = 18.9 \text{ m}^2$

## V.2.CHOIX DE LA POMPE A CHALEUR

On peut choisir la pompe à chaleur comme système de chauffage d'appoint pour plusieurs raisons que voici :

- ❖ Son efficacité énergétique donc son faible coût de consommation.
- ❖ Pour qu'une pompe à chaleur fonctionne à un degré d'efficacité élevée elle doit être limitée en température haute et basse, la température haute est d'environ 60°C à 70°C ce qui convient au chauffage basse température.
- ❖ La température du milieu extérieur où se trouve cette maison est généralement au dessus de 0°C ce qui convient à une pompe à chaleur.
- ❖ La possibilité d'inverser le cycle et profiter de la zone froide pour améliorer le temps de réponse de la dalle qui est très lent à cause de sa très forte capacité thermique.
- ❖ Fonctionnement du plancher en mode rafraichissant dans les périodes chaudes.
- ❖ Elle est plus écologique que les chaudières à gaz même si elle utilise de l'électricité issue du gaz car leur coefficient de performance est supérieur à l'inverse du rendement d'une centrale électrique qui marche au gaz.

### **V.3.CHOIX DU CHAUFFAGE AU GAZ :**

On peut choisir le chauffage au gaz comme chauffage d'appoint pour les raisons suivantes :

- ❖ La disponibilité du gaz dans notre pays.
- ❖ Le cout du KWh est très réduit en comparaison avec les autres énergies.

### **V.4.DIMENSIONNEMENT DE LA POMPE A CHALEUR ET DE LA CHAUDIERE A GAZ :**

La puissance fournie par la pompe à chaleur est trouvée en additionnant la puissance maximale à fournir pour le chauffage de la maison et la puissance nécessaire pour chauffer 500 L d'eau par 48 heures de 0°C à 60°C.

Pour la puissance maximale à fournir pour le chauffage de la maison on a trouvé une valeur de 5394.53 W donc il nous reste plus qu'à déterminer la puissance pour le chauffage de l'eau et elle est donnée par utilisation de l'équation **(II.12)** :

Donc on va prendre une pompe à chaleur qui fournie 6000 Watt.

Après une recherche sur le net on a trouvé une pompe à chaleur qui fournie cette puissance il s'agit de la pompe à chaleur **ATLANTIC ALFEA EVOLUTION**.



**Fig. V.2: Pompe à chaleur ATLANTIC ALFEA EVOLUTION [10]**



**Fig. V.3 : chaudière micro-accumulation [11]**

Ce chapitre a permis le calcul de la surface de captage et procédé au choix du capteur dont les caractéristiques dimensionnelles sont fournies par le constructeur et le bon choix et des autres éléments constituant le système.

## **CONCLUSION GENERALE**

Le travail que nous avons effectué nous a permis de comprendre les besoins des humains en chauffage et de s'intéresser à la description des différentes techniques de chauffage que l'homme a utilisé et continue à utiliser pour ensuite se focaliser sur le chauffage solaire qui a l'avantage d'être propre et durable.

Un bilan thermique a été établi à travers le calcul des différentes déperditions ce résultat est approuvé par l'expérience et en plus que la puissance de chauffage est très élevée pour cela nous proposons d'augmenter la résistance thermique de l'enveloppe de la maison à travers l'utilisation d'une bonne isolation thermique et des doubles vitrages pour les fenêtres et améliorer l'étanchéité de la maison.

Les dalles chauffantes offrent une température douce et uniforme dans toute la maison, elle joue un double rôle de stockage et d'émetteur de chaleur. Leurs capacité thermique élevée est un avantage et un inconvénient ; un avantage car elle permet de stocker la chaleur très longtemps et un inconvénient quand on veut avoir des différences de température rapides.

L'utilisation d'une pompe à chaleur comme chauffage d'appoint dans une installation de chauffage solaire a de nombreux avantages, elle est économique et le plus important elle est écologique en plus de ça c'est une technologie en perpétuel progrès, donc nous pensons que la pompe à chaleur est un dispositif d'appoint plus adéquat que le gaz de ville pour les régions pas trop froides bien sûr.

Ce travail nous a aussi permis de nous rendre compte et de savoir à quelle point la nature est généreuse et de découvrir ainsi qu'il y a des solutions pour subvenir au besoins en énergie des êtres humains sans détruire la nature car la destruction de cette dernière est synonyme de l'extinction de la race humaine, donc l'utilisation des rayonnements solaires pour le chauffage des maisons constitue un excellent moyen de lutte contre le réchauffement climatique et de préserver ainsi notre planète sans compromettre l'environnement des générations futures.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]:ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), N=5622, Mars 2008.
- [2] : <http://www.clipsol.com/navig/indiv/contenu/produit/PSD.html>
- [3] : Thomas LETZ. INES Education-Savoie Technologie- BP258-F73375 Le Bourget du lac- Novembre 2007.
- [4] : Yves JANNOT, *Transferts Thermiques*, Ecole des Mines Nancy, 2011.
- [5]: Incropera, F.P., De Witt, D.P.' *Introduction to Heat Transfer*, 1990, 2nd Ed, John Wiley & sons.
- [6] : Documentation Technique Réglementaire (DTR).
- [7] : P.Amet, G.Goudron, Y.Guern et R.Jules, E.Marguet et F.Mykieta, *Installer un chauffage ou un chauffe-eau solaire* ; Edition EYROLLES, Octobre 2010.
- [8] : André JOFFRE, *Energie solaire thermique dans le bâtiment*, Ed.Tecsol, 2012.
- [9] :Anissa SALMI, Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire d'une maison individuelle type pavillon, Mémoire d'ingénieur UMMTO 2007.
- [10] : <http://www.domotelec.fr/achat/pompe-a-chaaleur-air-eau/381-aerothermie.html>
- [11] : <http://www.electrogaz.fr/chaudieres.php>
- [12] : Jean-François LAPRAY, Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et axiales, Techniques de l'ingénieur, Novembre 1994.
- [13] : NF DTU 65.14 P2 (septembre 2006 indice de classement : P 52-307-2) : *Travaux de bâtiment* – Exécution des planchers chauffants a eau chaude.