

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Mécanique

MÉMOIRE

En vue de l'Obtention du Diplôme du Master en
Génie Mécanique option Energétique

Thème

***Chauffage solaire destiné à une
habitation***

Proposé et Dirigé par :
Mme. F.SAHNOUNE
Mr. M. BENBRAIKA

Réalisé par :
GHEMARI.Nacer

Promotion : Juin 2014

*Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi BP182 El-Harrach
16200 Alger (Algérie)*

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu Le tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il m'a donné durant ces années d'études.

Je tiens à remercier M. Ben Braika Mohamed pour son encadrement, ses conseils et son aide à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier Dr. Sahnoune fatiha pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier les membres de jury, les enseignants du département génie mécanique et tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont participé à ma formation, m'ont beaucoup appris et sans lesquels je ne serais pas ce que je suis.

Je tiens enfin à remercier tous mes amis ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

-Je dédie ce travail :

*-à ma mère qui m'a soutenu durant toutes ces années
d'études et qui a été toujours présente pour me pousser à
faire plus d'effort pour un avenir meilleur*

-à ma grande mère

-à ma sœur et mes frères ;

-à tous les membres de ma grande famille GHEMARI,

*-à mes professeurs, mes amis et à tous ceux qui m'ont assisté et
soutenu dans mes études.*

ملخص

بناء كفاءة في الاستخدام الطاقوي هو الحل الوحيد للحد من التكاليف الطاقوية وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري .
هذا العمل يعتمد على دراسة السلوك الحراري الطاقوي لمنزل بنيت من مواد محلية و بناء على معايير جزائرية.
لقد تم تطبيق عزل سليم وزجاج عادي على المنزل المدروس.
لقد تم استخدام اسلوب درجة الايام لتحليل الطلب على الطاقة لغرض التدفئة.
الكلمات الرئيسية : التدفئة الطلب، الشمسية، الطاقوي العزل الحراري.

Résumé

Un habitat à haute efficacité énergétique est la seule solution afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre.

Ce travail consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction.

Une bonne isolation de l'enveloppe ainsi que le simple vitrage sont appliqués sur l'habitat étudié.

La méthode des degrés jours est utilisée pour l'analyse de la demande énergétique en chauffage.

Mots clefs : Chauffage solaire, demande énergétique, isolation thermique.

Abstract

The high energy efficiency of house is the only solution to reduce energy costs and emissions of greenhouse gases.

This work consists in studying the thermal and energy behavior of a house built with local materials and the standards Algerian construction.

Well insulated of the envelope and simple glazing are applied to the habitat studied.

The method of degree days is used for the analysis of energy demand for heating.

Keywords: solar heating, energy demand, solar gains

Sommaire :

Introduction générale	1
------------------------------------	---

❖ **Chapitre I : Généralités sur les systèmes de chauffage solaire**

I.1. Introduction.....	3
I.2. Le chauffage des habitations	3
I.2.1.Définition de l'opération.....	3
I.2.2.Le chauffe-eau solaire.....	5
I.2.3 Le chauffage solaire des maisons.....	7
I.3.Etude thermique de l'installation.....	8
I.3.1. bilan d'énergie d'un capteur solaire.....	8
I.3.1.1.l'Absorbeur.....	9
I.3.1.2. La couverture transparente.....	12
I.3.1.3.Bilan énergétique du fluide caloporteur.....	14
I.3.2.Le bilan énergétique dans le réservoir.....	15
I.4.Conclusion.....	16

❖ **Chapitre II : Déperditions thermiques**

II.1.Introduction.....	17
II.2.Bilan de déperdition thermique.....	17
II.2.1.Coefficient de déperdition globale G_V	17
II.2.2.Origine des pertes thermiques.....	17
II.2.2.1.Les murs de surface S_m	17
II.2.2.2.Les vitrages de surface totale S_v	18
II.2.2.3.Le plancher de surface totale S_p	18
II.2.2.4.La toiture de surface totale S_t	18
II.2.2.5.Les ponts thermiques	19
II.2.2.6.Le renouvellement d'air.....	19
II.3.Bilan des besoins thermiques.....	20
II.3.1.Coefficient des besoins thermique B_V	20
II.3.2.Température limite sans chauffage T_{sc}	20
II.3.3.Les besoins énergétiques réels Q_e	20
II.4.Méthode des degrés jours	21

II.5.Dimensionnement et étude thermique	23
II.5.1.Description de maison étudiée	23
II.5.2.Détails des parois de l'enveloppe de l'habitat étudié et calcul des résistances thermiques.....	25
II.5.2.1.Matériaux constituant le mur extérieur.....	25
II.5.2.2.Matériaux constituant le plancher haut (toit).....	26
II.5.2.3.Matériaux constituant le plancher bas.....	26
II.5.2.4.Les ouvrants (les fenêtres et les portes).....	27
II.5.3.Evaluation total pour les besoins de chauffages.....	27
II.5.3.1.Calcul de coefficient de déperdition global	27
II.5.3.2.Calcul de la température limite sans chauffage.....	28
II.5.3.3.L'énergie nécessaire pour le chauffage.....	28
II.6.Conclusion.....	29
Conclusion Générale.....	30
Bibliographie.....	31

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon.....3
Figure I.2: schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct.....3
Figure I.3: schéma d'un chauffe-eau solaire.....4
Figure I.4 Systèmes standard de production d'eau chaude.....5
Figure I.5: schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons.....7
Figure I.5 : les transferts thermiques dans le capteur plan.....7
Figure II.1: champ des températures dans un mur composé.....17
Figure II.2: schéma montrant l'existence d'un pont thermique.....18
Figure II.3. Plan de l'habitat étudié.....23

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Nombre de degrés-jours ndj à Chlef.....	21
Tableau II.2 : Matériaux constituant le mur extérieur.....	24
Tableau II.3 : Matériaux constituant le plancher haut.....	25
Tableau II.4 : Matériaux constituant le plancher bas.....	25
Tableau I.5 : Coefficients de transmission thermique fixé par la norme belge.....	26
Tableau I.6 : Coefficients d'échange thermique total de l'habitation.....	26
Tableau I.7: Variation de la température extérieure moyenne mensuelle.....	27
Tableau I.8: Variation du nombre degrés-jours mensuel pour une T_{sc} de 19°C.....	27
Tableau II.8 : Représentation des besoins mensuels en énergie pour le chauffage.....	28

Nomeclature

G_T : Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur.....	W/m^2
Q_{a-c} : Flux de chaleur transféré à la couverture transparente.....	W
Q_{a-e} : Flux de chaleur transféré à l'eau	W
Q_{st} : Flux de chaleur stocké	W
$Q_{ab,a}$: Flux de chaleur absorbé	W
Q_{ab-s} : Flux de chaleur absorbé	W
Q_{c-a} : Flux de chaleur transféré par l'absorbeur	W
$Q_{c,a}$: Flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère	W
$Q_{r,a}$: Flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère	W
Q_{a-e} : La chaleur transférée par la plaque absorbante.....	W
Q_u : La chaleur utile	W
Q_p : Les pertes thermiques	W
Q_{st} : Le flux stocké par le fluide caloporteur.....	W
$Q_{st,r}$: le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage	W
Q_u : le flux utile	W
Q_b : le flux utilisé dans le bouilleur	W
Q_{th} : les déperditions thermiques du bâtiment.....	W
T_{pm} : La température moyenne de la plaque absorbante.....	K
T_{cm} : La température moyenne de la couverture transparente	K
T_a : La température ambiante	k
T : La température d'entrée et de sortie du capteur	k
T_{fr} : la Température dans le réservoir.....	K
ΔT : L'écart de température entre les deux plaques	K
S_{per} : la surface extérieure de réservoir.....	m^2
S_{pa} : La surface de la plaque absorbant.....	m^2
S_m Les murs de surface.....	m^2
S_v Les vitrages de surface totale.....	m^2

NOMENCLATURE

S_p : plancher de surface totale	m^2
S_t : La toiture de surface totale.....	m^2
S_c : Surface de la couverture transparente.....	m^2
h_{a-e} : le coefficient de convection de l'absorbeur vers l'eau.....	$W/m^2.k$
$h_{c.a \rightarrow c}$: Le coefficient de transfert thermique par convection entre la plaque absorbante et la couverture transparente	$W /m^2.k$
h_1 : Le coefficient de convection+rayonnement entre le mur extérieur et l'environnement	$W /m^2.k$
h_2 : Le coefficient de convection+rayonnement entre entre le mur intérieur et l'air intérieur	$W /m^2.k$
G_V : Coefficient de déperdition thermique.....	W/K
B_V : Coefficient des besoins thermique.....	W/K
G : Coefficient de déperdition thermique volumique.....	W/K
B : Coefficient des besoins thermique volumique	W/K
K_m : Coefficient des pertes thermique à travers les parois.....	$W/m^2.k$
$h_{c.a}$: Convection de la couverture transparente vers l'atmosphère	$W /m^2.k$
h_i : coefficient de convection interne	$W /m^2.k$
g : Conductivité thermique de l'air entre les plans	$W/m.K$
k_{per} : le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir	$W/m^2.K$
Cp_{fc} : la capacité calorifique de fluide caloporteur dans le réservoir	$J /Kg.K$
Cp_c : La capacité calorifique à pression constante de couverture.....	$J/kg.K$
Cp_{fc} : la capacité calorifique de fluide caloporteur	$J/kg.k$
M_c : La masse de la couverture	kg
M_{fc} : la masse de fluide caloporteur dans le réservoir.....	Kg
\dot{m}_{fc} : Le débit du fluide caloporteur	kg/s
L_v : L'espace entre les deux plans	m
V : la vitesse de vent	m/s

F : facteur d'apports gratuits.

Ra : Le critère de Rayleigh

LETTRES GRECQUES :

τ_{cr} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

α_{∞} : Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement.

α_{pa} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante des rayonnements solaires.

σ : Constante de Stephan-Boltzmann..... $W/m^2 \cdot K^4$

ϵ_p : L'émissivité de la plaque absorbante.

ϵ_c : L'émissivité de la couverture transparente.

λ_a : Conductivité thermique de l'air entre les plans..... $W/m.K$

β : L'angle d'inclinaison des deux plans °

β' : Coefficient de dilatation thermique (pour les gaz $\beta' = 1/T$) K

μ_a : Viscosité dynamique..... $pa.s$

INTRODUCTION GENERALE

« L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique », souligne Björn Stigson, président du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD). . *« Sans mesures immédiates, des milliers de nouveaux bâtiments seront construits sans aucune considération pour l'efficacité énergétique et des millions de bâtiments existants consommant plus d'énergie que nécessaire seront toujours présents en 2050. Agir maintenant implique de réduire leur consommation énergétique et de faire de réels progrès en faveur de la lutte contre le changement climatique ». « Le marché ne pourra pas à lui seul introduire les changements nécessaires. La plupart des propriétaires et occupants de bâtiments ne sont pas assez informés sur la consommation d'énergie et ne s'en soucient pas suffisamment. Cette inertie est renforcée par les affirmations selon lesquelles les coûts sont trop élevés et les économies trop faibles. C'est pourquoi nous appelons à fournir un effort important, coordonné et mondial. Si nous pouvons faire cela, nous réduirons les émissions de gaz à effet de serre et stimulerons parallèlement la croissance économique »,* explique-t-il [1]. La demande mondiale d'énergie primaire a augmenté rapidement en raison de l'augmentation de la population et l'industrialisation [2]. Plus d'un tiers de la demande énergétique dans le monde est utilisée dans le secteur résidentiel.

La consommation d'énergie dans le monde par les équipements de chauffage dans les habitations varie de 8 à 23% de la consommation totale d'énergie.

La consommation d'énergie peut être considérablement réduite par l'adoption des stratégies d'efficacité d'énergie dans les habitations et cela en proposant des composants de l'enveloppe plus efficaces [3] des améliorations respectives d'une énergie du point de vue de l'efficacité. Différents types de murs énergétiques efficaces, tels que les murs Trombe, façades ventilées, et des parois vitrées sont envisageables.

Dans l'immédiat, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ces ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme, avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles stratégiques.

Pour une bonne efficacité énergétique, nous devons prendre en considération une conception efficace du bâtiment et une performance des équipements de chauffage.

Une conception efficace de l'habitat revient à bien choisir l'orientation, la compacité du bâtiment, la position et le type de vitrages ainsi que les matériaux de l'enveloppe.

L'intégration des énergies renouvelables dans le bâtiment est la meilleure alternative afin de diminuer la dépense énergétique et les émissions des gaz à effet de serre.

Dans ce document, nous avons structuré notre travail en deux chapitres,

- En 1er chapitre, une introduction générale est donnée sur le thème de notre travail.
- Le 2ème chapitre consiste à définir l'habitat à étudier, ses composants et les matériaux qui le constituent ainsi que la climatologie du site. Les différentes résistances thermiques sont déterminées, ainsi que le niveau d'isolation thermique de l'habitat. Et en fin les besoins nécessaires pour le chauffage.

CHAPITRE I

I.1.Introduction

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation)

Le domaine de l'énergie solaire passive suppose la conception de bâtiments et la mise en place des composants de construction appropriés afin d'utiliser la lumière solaire pour l'éclairage naturel, le chauffage des locaux. En plus de réduire la consommation d'énergie, un avantage primordial que procure l'énergie solaire passive est le confort ressenti par les occupants. et avec l'augmentation des besoins de la demande de chauffage d'habitation (locaux) au monde va prêter une grande importance pour l'étudier et développer et chercher tout jour des nouvelles installations avec plus de rendement et plus économie d'énergie.

Le composant de construction le plus utilisé par l'énergie solaire passive est la fenêtre. Au cours d'une année, la perte d'énergie, pour la plupart des fenêtres, est plus importante que le gain en énergie. Ces fenêtres à haut rendement thermique ont amélioré les perspectives en matière de chauffage solaire passif des locaux. Cela peut être aussi simple que de choisir des fenêtres pour votre bâtiment avec un plus haut taux d'énergie, voire même un taux positif. Pour économiser plus d'énergie, ou pour une meilleure utilisation de l'énergie solaire passive, on doit également choisir d'autres composants et/ou concevoir le bâtiment de façon appropriée. Ces composants supplémentaires comprennent une grande masse thermique intérieure afin de conserver la chaleur, ainsi qu'une enveloppe du bâtiment bien isolée.

I.2. Le chauffage des habitations

I.2.1.Définition de l'opération

Le principe consiste à distribuer la chaleur provenant des capteurs solaires dans des radiateurs de grande surface ou dans un plancher chauffant (bâtiment neuf), le chauffage des locaux étant réalisé dans les deux cas en basse température. Ces systèmes de chauffage doivent recourir à un appoint puisque l'on ne couvre jamais 100 % des besoins de chauffage.

Il existe essentiellement deux types d'installations :

1. la première utilise un ballon de stockage solaire tampon plus ou moins important qui va permettre de continuer à chauffer le bâtiment même pendant les périodes consécutives de faible insolation.

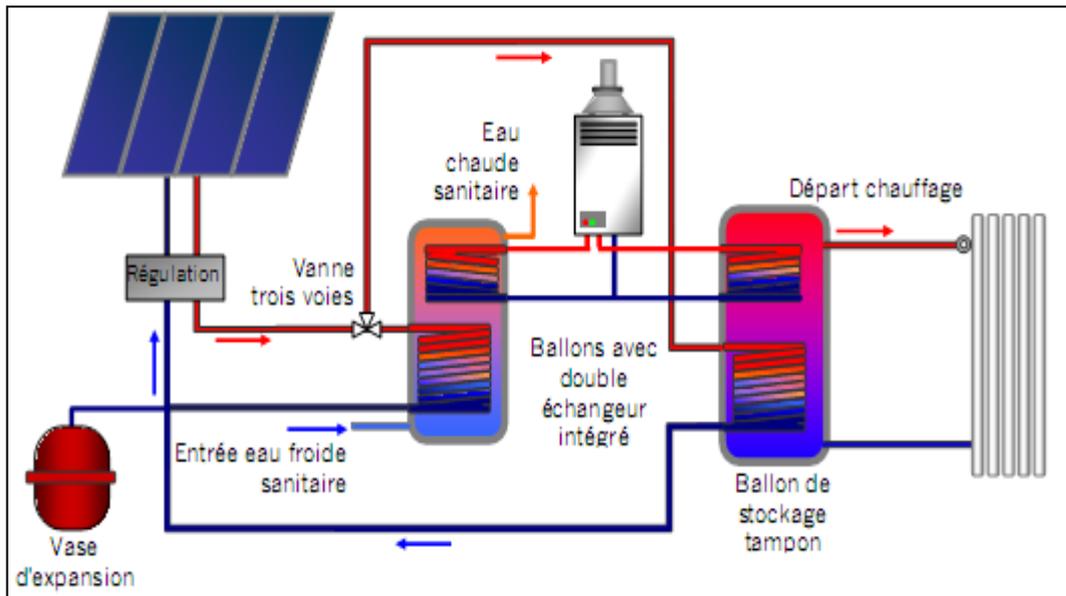


Figure I.1 : Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon

Il est courant de voir aujourd'hui un seul ballon de stockage combiné qui permet ainsi de limiter l'encombrement et de simplifier la construction et la régulation de ces systèmes dans le domaine de l'habitat, le chauffage solaire d'une habitation et de l'eau chaude sanitaire est appelé **SSC** (Système Solaire Combiné).

2. la seconde installation envoie directement le fluide caloporteur provenant des capteurs solaires dans un circuit de tuyaux qui circulent dans la dalle en béton. L'inertie de cette dalle d'une épaisseur de 10 à 15 cm permet de restituer en soirée l'énergie accumulée pendant la journée [4].

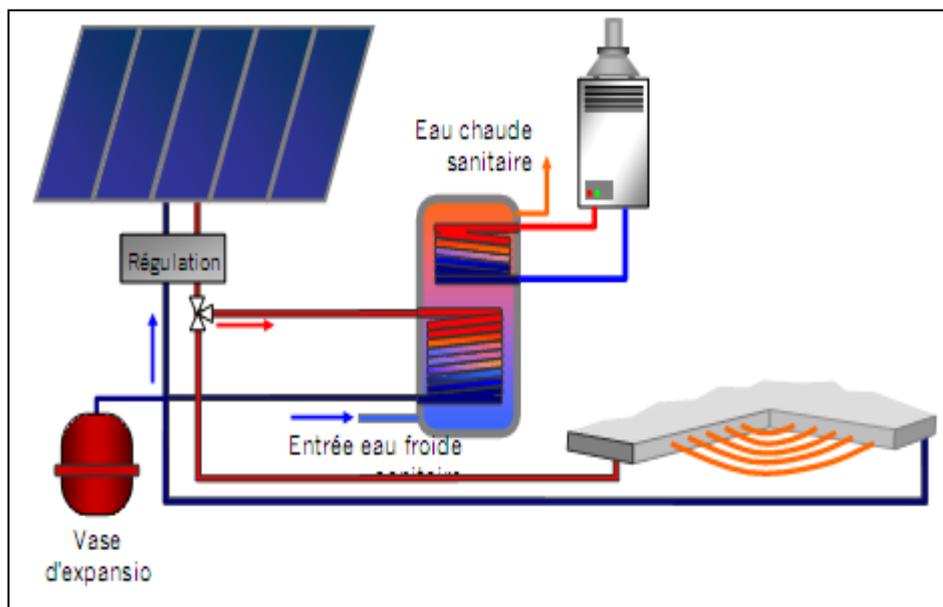


Figure I.2: schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct

L'appoint peut être intégré au système solaire et dans ce cas, le plancher chauffant ou les radiateurs servent à distribuer la chaleur complémentaire qui provient d'une résistance électrique ou d'une chaudière gaz ou fioul.

I.2.2. Le chauffe-eau solaire [5]

On ne peut pas utiliser directement l'eau chauffée dans les capteurs du fait de l'antigel. On va donc se servir de cette eau (eau antigel) pour chauffer l'eau sanitaire. Pour cela, on réalise le montage suivant.

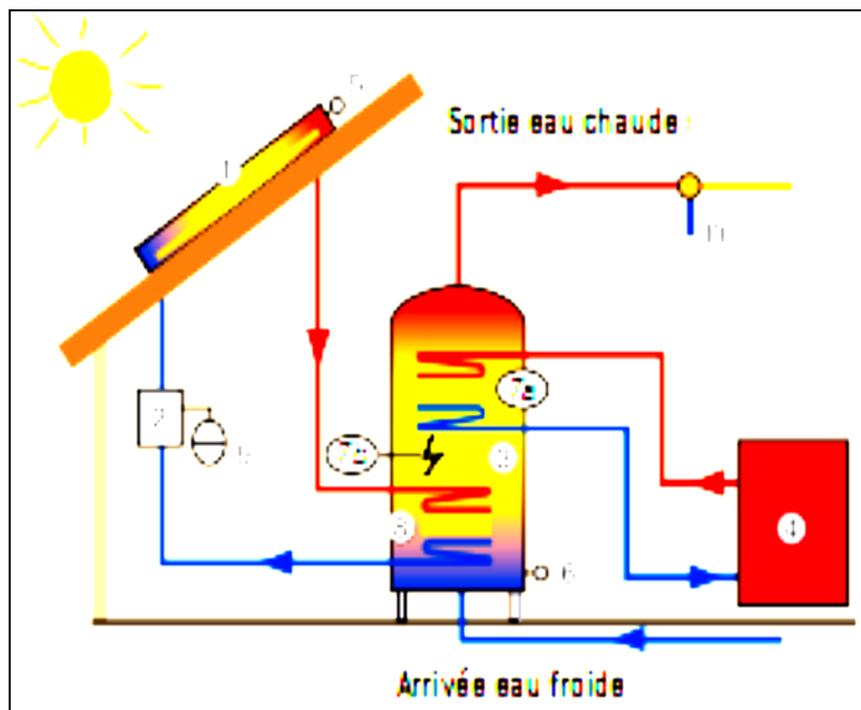


Figure I.3: schéma d'un chauffe-eau solaire.

Le fluide (eau antigel) du circuit fermé passe dans les capteurs où il s'échauffe. Il échange ensuite sa chaleur avec l'eau du chauffe-eau. Tandis que l'eau du chauffe-eau se réchauffe, le fluide se refroidit. Il repasse alors à nouveau dans les capteurs (une pompe assure la circulation du fluide dans le circuit fermé). Et ainsi de suite.

Par ce système, on peut obtenir de l'eau chaude pouvant atteindre au maximum une température de 90°C.

Il existe plusieurs systèmes (circuit) standard de production d'eau chaude pour assurer le confort en les présente ce suivre :

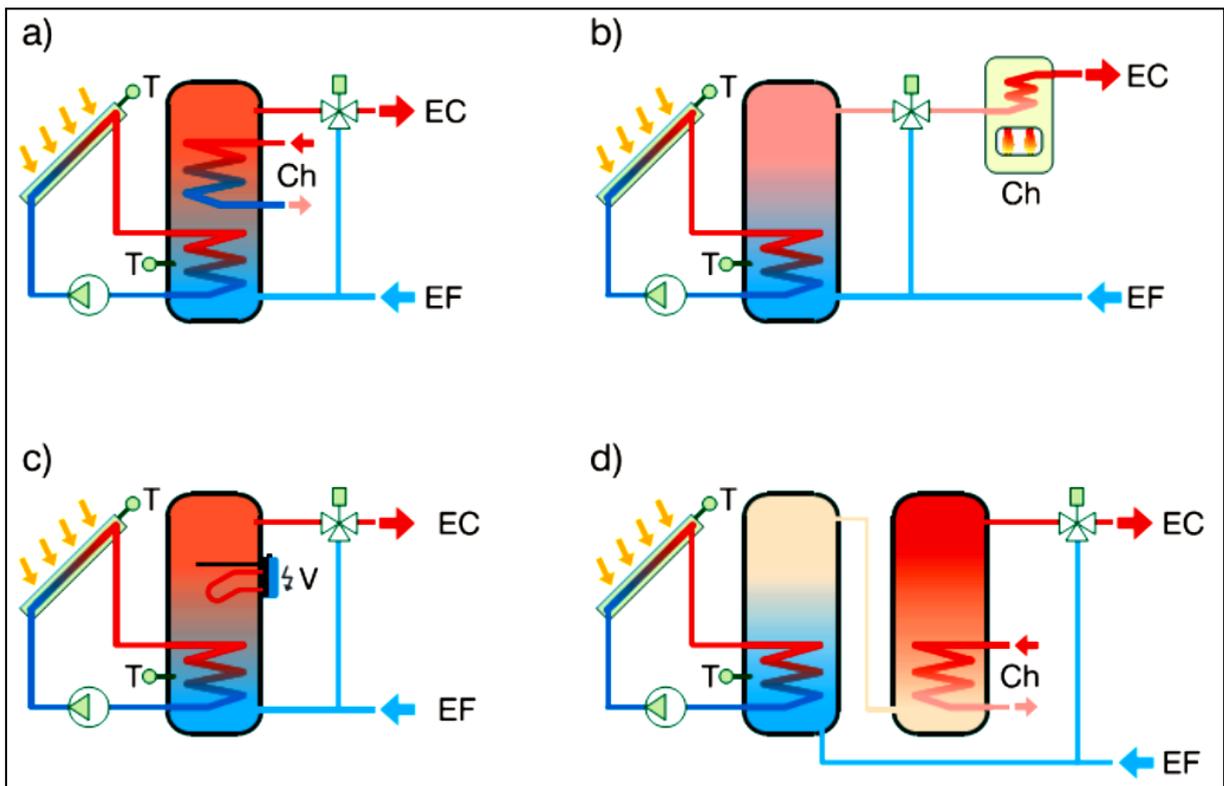


Figure I.4 Systèmes standard de production d'eau chaude
(D'après DGS Solar Anlagen - 2001).

➤ Système standard

Le système standard est le système le plus courant en cas de construction neuve ou de remplacement complet de l'installation de production d'eau chaude, pour les installations de petite et moyenne tailles. La plupart des fabricants propose pour une application unifamiliale un « kit standard » fonctionnant selon ce principe, et combinant $\pm 5 \text{ m}^2$ de capteurs solaires à un ballon de stockage de ± 300 litres. Il s'agit d'un système à circuit double : le circuit primaire reliant les capteurs solaires au ballon et le circuit secondaire assurant l'alimentation du ballon de stockage en eau potable et la distribution de l'eau chaude en aval du ballon. Le ballon de stockage est du type « biénergie » (à double échangeur de chaleur interne). L'échangeur de chaleur situé dans son tiers inférieur est destiné à l'alimentation par la chaleur solaire ; l'échangeur situé dans le tiers supérieur, destiné à l'appoint de chaleur par la chaudière. La partie supérieure du ballon, maintenue à une température proche de 60°C , doit avoir un volume suffisant que pour assurer les besoins instantanés maximaux en eau chaude. Les deux tiers inférieurs du ballon sont destinés au stockage de la chaleur solaire, le volume de cette partie inférieure est généralement proche du volume d'eau chaude moyen consommé

quotidiennement. A la sortie du ballon est installé un mitigeur thermostatique à trois voies afin de limiter (à 55– 60°C) la température de l'eau envoyée vers le circuit de distribution. Les principes de régulation utilisés .La pompe du circuit solaire est activée quand la température à la sortie des capteurs solaires dépasse de 5 à 8°C celle dans le tiers inférieur du ballon de stockage. L'appoint de chaleur est quant à lui commandé par la régulation de la chaudière : lorsque la température de consigne n'est pas atteinte dans le tiers supérieur du ballon, la chaudière est enclenchée. La chaudière est de type classique à double fonction eau chaude et chauffage (avec priorité eau chaude).

Le montage d'une telle installation est relativement simple. La plupart des fournisseurs veillant à la simplification et à la limitation du nombre de branchements.

➤ **Système à appoint de chaleur externe placé en série**

Cette configuration est la plus recommandée dans le cas d'habitations où un raccordement gaz existe et où la production d'eau chaude se fait de manière indépendante de la production de chaleur pour le chauffage.

➤ **Système à appoint de chaleur interne à l'électricité**

Cette configuration est la plus appliquée dans le cas d'habitations où la production d'eau chaude se fait de manière indépendante de la production de chaleur pour le chauffage et où aucun raccordement au réseau de gaz naturel n'existe. D'un point de vue purement environnemental, un appoint de chaleur à l'électricité est à considérer en dernier recours

d) Système à double ballon de stockage. Cette configuration est la plus recommandée dans le cas d'habitations où la production d'eau chaude se fait au moyen d'une chaudière récente comportant un ballon de stockage interne ou alimentant un ballon de stockage externe existant. Et l'installation solaire est ajoutée en amont de l'installation existante.

II.2.3 Le chauffage solaire des maisons

On utilise la chaleur emmagasinée par le fluide (eau antigel) pour chauffer la maison.

C'est donc un chauffage solaire à eau chaude, dans lequel la chaleur peut être distribuée par des radiateurs ou par le sol (solution plus fréquente). Dans ce dispositif, le fluide échange sa chaleur avec la dalle qui elle-même va transmettre la chaleur reçue par le fluide à l'air de la maison. Ainsi, la dalle est un intermédiaire entre le fluide et l'air.

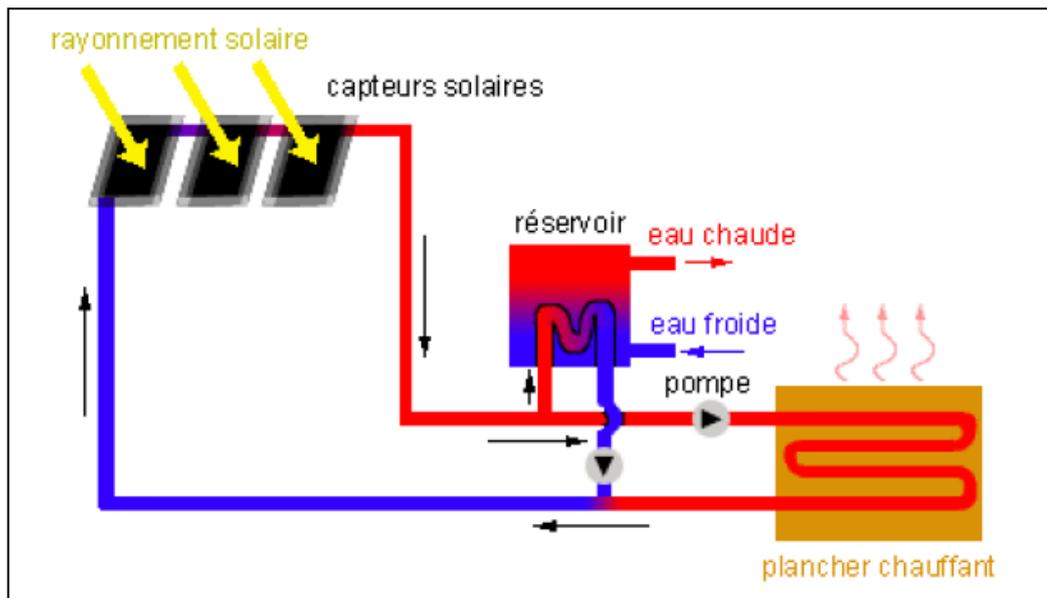


Figure I.5: schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons

Le réservoir d'eau chaude peut avoir deux fonctions :

- Il peut servir la nuit à chauffer la dalle de la maison. En effet la nuit le fluide ne peut pas se chauffer via les capteurs solaires. Il faut donc une réserve de chaleur pour le chauffage central ou bien utiliser une chaufferie classique.
- Il peut aussi tout simplement être utilisé comme chauffe-eau afin de fournir l'eau chaude sanitaire.

I.3. Etude thermique de l'installation [6],[7]

I.3.1. bilan d'énergie d'un capteur solaire :

La figure III.6 représente les transferts thermiques dans un capteur plan d'une part, dans le capteur lui-même (entre ses différents éléments) et d'autre part, entre le capteur et le milieu extérieur

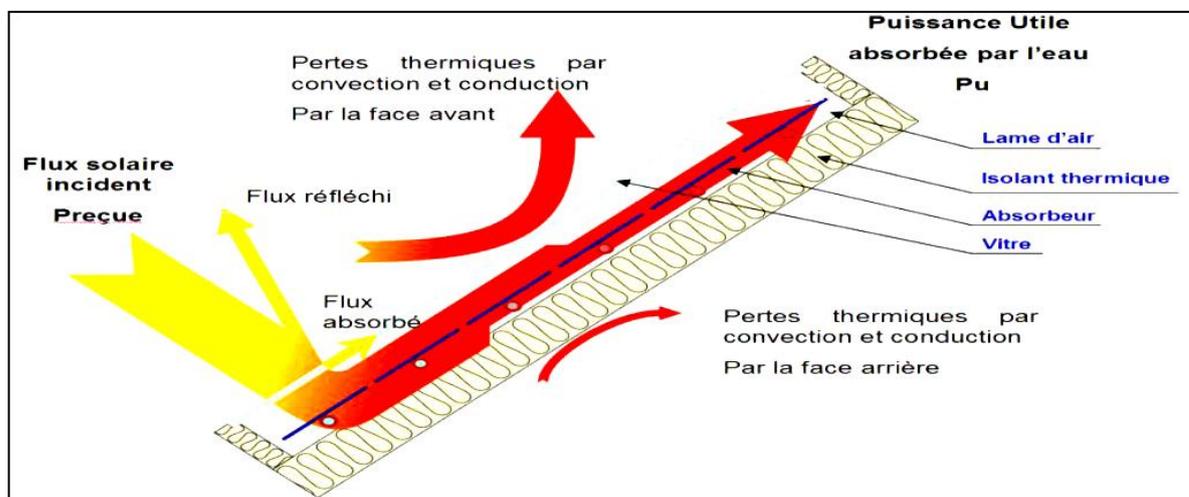


Figure I.5 : les transferts thermiques dans le capteur plan

On commence par établir les bilans thermiques dans chaque composant du capteur.

I.3.1.1. l'Absorbeur :

Le bilan de chaleur dans la plaque absorbante s'écrit ainsi :

$$Q_{st} = Q_{ab,a} - Q_{a-e} - Q_{a-c} \quad (I.1)$$

Avec :

Q_{a-c} : Flux de chaleur transféré à la couverture transparente ; (W)

Q_{a-e} : Flux de chaleur transféré à l'eau ; (W)

Q_{st} : Flux de chaleur stocké ; (W)

$Q_{ab,a}$: Flux de chaleur absorbé ; (W)

❖ Le flux transféré à la couverture transparente

Le flux thermique transféré à la couverture transparente s'effectue par convection et par rayonnement.

$$Q_{a-c} = (h_{r,a-c} + h_{c,a-c}) S_{pa} (T_{pm} - T_{cm}) \quad (I.2)$$

Avec :

T_{pm} : La température moyenne de la plaque absorbante ; (K)

T_{cm} : La température moyenne de la couverture transparente ; (K)

S_{pa} : La surface de la plaque absorbant ; (m²)

$h_{r,a-c}$: Le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en (W/ m². K), et donné par la relation suivante :

$$h_{r,a-c} = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_{cm}^2)(T_{pm} + T_{cm})}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (I.3)$$

σ : Constante de Stephan-Boltzmann. ($\sigma = 5,675.10^{-8}$ W/m². K⁴)

ε_p : L'émissivité de la plaque absorbante.

ε_c : L'émissivité de la couverture transparente.

$h_{c,a-c}$: Le coefficient de transfert thermique par convection entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en (W / m² .K). Le coefficient de convection entre deux plans parallèles inclinés est donné par la formule suivante :

$$h_{c,a \rightarrow c} = \frac{\lambda_a}{L_v} \cdot (1 + f_1 + f_2) \quad (I.4)$$

Les valeurs des paramètres f_1 et f_2 sont définis comme suit :

$$\text{Si } \begin{cases} \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] \leq 0 & \Rightarrow f_1 = 0 \\ \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] > 0 & \Rightarrow f_1 = 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin(\beta))^{1,6}}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] \end{cases}$$

Et :

$$\text{si } \begin{cases} \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \leq 0 & \Rightarrow f_2 = 0 \\ \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] > 0 & \Rightarrow f_2 = \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \end{cases}$$

Avec :

λ_a : Conductivité thermique de l'air entre les plans ;(W/m.K)

L_v : L'espace entre les deux plans (m)

β : L'angle d'inclinaison des deux plans (degré)

Ra : Le critère de Rayleigh, donné par la relation suivante :

$$Ra = \frac{g \cdot \rho_a \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L_v^3}{\mu_a \cdot \lambda_a} \quad (I.5)$$

Avec :

g : Conductivité thermique de l'air entre les plans (W/m.K)

β' : Coefficient de dilatation thermique (pour les gaz $\beta' = 1/T$) (K)⁻¹

μ_a : Viscosité dynamique (pa.s)

ΔT : L'écart de température entre les deux plaques (K)

❖ Le flux thermique transféré à l'eau

La puissance utile est la puissance transmise au fluide caloporteur, elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_{a-e} = h_{a-e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (I.5)$$

Avec :

$$\begin{cases} \text{Re} > 5 \cdot 10^5 \text{ et } \text{Pr} \geq 0.5 \\ \text{Re} < 5 \cdot 10^5 \text{ et } 10 \geq \text{Pr} \geq 0,5 \end{cases}$$

Et :

h_{a-e} : le coefficient de convection de l'absorbeur vers l'eau ; (W/m.k)

T : La température moyenne de fluide caloporteur ; (K)

❖ Le flux de chaleur stocké

La puissance thermique stockée est représentée par la puissance qui provoque l'augmentation de la température de plaque absorbante, elle est donnée par :

$$Q_{st} = M_a \cdot C_{pa} \cdot \frac{dT_{pm}}{dt} \quad (I.6)$$

M_a : La masse de la plaque absorbante ; (kg)

C_{pa} : La capacité calorifique de la plaque absorbante (j / k g. k)

❖ Le flux de chaleur absorbé

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{ab,a} = \tau_{cr} \cdot \alpha_{pa} \cdot G_t \cdot S_{pa} \quad (I.7)$$

τ_{cr} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire

α_{pa} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante des rayonnements solaires ;

G_t : Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur (W/m²)

❖ L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur

L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur s'écrit alors,

$$M_a \cdot C_{pa} \cdot \frac{dT_{pm}}{dt} = \tau_{cr} \cdot \alpha_{pa} \cdot G_t \cdot S_{pa} - (h_{r,a-c} + h_{c,a-c}) S_{pa} (T_{pm} - T_{cm}) = h_{a-e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (I.8)$$

I.3.1.2. La couverture transparente :

Le bilan d'énergie dans la couverture transparente est :

$$Q_{st} = Q_{ab,a} + Q_{c-a} - Q_{c,a} - Q_{r,a} \quad (I.9)$$

Q_{ab-s} : Flux de chaleur absorbé (W)

Q_{c-a} : Flux de chaleur transféré par l'absorbeur (W)

$Q_{c,a}$: Flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère (W)

$Q_{r,a}$: Flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère (W)

Q_{st} : chaleur stocké en (W)

❖ Flux de chaleur absorbé

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{ab,a} = \alpha_{\infty} \cdot G_t \cdot S_c \quad (I.10)$$

Avec :

α_{∞} : Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire.

S_c : Surface de la couverture transparente ; (m²)

❖ Flux de chaleur transféré par l'absorbeur

Ce flux de chaleur transféré est égal à :

$$Q_{c-a} = (h_{r,a-c} - h_{c,a-c}) S_c (T_{pm} - T_{cm}) \quad (I.11)$$

❖ Flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère

Ce flux de chaleur transféré est égal à :

$$Q_{c-a} = h_{c,a} \cdot S_c \cdot (T_{cm} - T_a) \quad (I.12)$$

Avec :

$$h_{c,a}=5.67+3.86.V \quad (I.13)$$

$h_{c,a}$: Convection de la couverture transparente vers l'atmosphère (W /m².k)

V : la vitesse de vent (m/s)

T_a : la température ambiante (k)

❖ Flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère

flux de chaleur est égal à :

$$Q_{r,a}= h_{c,r}.S_c. (T_{cm}- T_c) \quad (I.14)$$

$h_{c,r}$: coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la couverture transparente et le ciel. et il est donné par la relation suivante :

$$h_{c,r} =\varepsilon_c .\sigma . (T_{cm}+T_c) . (T_{cm}^2 - T_c^2) \quad (I.15)$$

Et T_c est donné par la relation suivante :

$$T_a=0.0552.T_c^{1.5} \quad (I.16)$$

❖ Flux de chaleur stocké

La puissance thermique stockée est la puissance qui provoque l'augmentation de la température de couverture, elle est donnée par :

$$Q_{st,c}=M_c.Cp_c . \frac{dT_{cm}}{dt} \quad (I.17)$$

Ou :

M_c : La masse de la couverture en (kg),

Cp_c : La capacité calorifique à pression constante de couverture (J/kg.K).

❖ L'équation finale de la couverture transparente :

L'équation finale du bilan thermique au niveau de la couverture transparente s'écrit alors,

$$M_c.Cp_c . \frac{dT_{cm}}{dT} = \alpha_{\infty}.G_t.S_c+ (h_{r,a-c}+ h_{c,a-c}) S_c. (T_{pm}- T_{cm}) - h_{c,r}.S_c. (T_{cm}- T_c)- h_{c,a}.S_c.$$

$$(T_{cm}- T_a) \quad (I.18)$$

I.3.1.3. Bilan énergétique du fluide caloporteur :

Le bilan d'énergie du fluide caloporteur est :

$$Q_{st} = Q_{a \rightarrow e} - Q_p - Q_u \quad (I.19)$$

$Q_{a \rightarrow e}$: La chaleur transférée par la plaque absorbante (w)

Q_u : La chaleur utile (w)

Q_p : Les pertes thermiques (w)

Q_{st} : Le flux stocké par le fluide caloporteur (w)

❖ L'énergie utile

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{r,a} = \dot{m}_{fc} \cdot C_{pfc} \cdot (T_{fc} - T_{fe}) \quad (I.20)$$

T : La température d'entrée et de sortie du capteur (k)

\dot{m}_{fc} : Le débit du fluide caloporteur (kg/s)

C_{pfc} : la capacité calorifique de fluide caloporteur (J/kg.k)

❖ L'énergie transférée par la plaque absorbante

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{a \rightarrow e} = h_{a \rightarrow e} \cdot S_c \cdot (T_{pm} - T_{fm}) \quad (I.21)$$

❖ L'énergie perdue

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_p = K_p \cdot S_{pa} \cdot (T_{fm} - T_a) \quad (I.22)$$

Avec:

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_e}} \quad (I.23)$$

h_i : coefficient de convection

❖ L'énergie stockée

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st,c} = M_{fc} \cdot C_{pfc} \cdot \frac{dT_{fm}}{dt} \quad (I.24)$$

M_{fc} : La masse du fluide caloporteur se trouvant dans le capteur (kg)

❖ Equation finale du fluide caloporteur

L'équation finale du bilan thermique relative au fluide caloporteur s'écrit alors,

$$M_{fc} \cdot C_{pfc} \cdot \frac{dT_{fm}}{dt} = h_{a-e} \cdot S_{pa} \cdot (T_{pm} - T_{fm}) - m_{fc} \cdot C_{pfc} \cdot (T_{cm} - T_c) - K_p \cdot S_{pa} \cdot (T_{fm} - T_a)$$

(III.42)

I.3.2. Le bilan énergétique dans le réservoir :

Le bilan d'énergie dans le réservoir

$$Q_{st,r} = Q_u - Q_b - Q_{per} \quad (I.25)$$

$Q_{st,r}$: le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage (w)

Q_u : le flux utile (w)

Q_b : le flux utilisé dans le bouilleur (w)

Q_{per} : le flux perdu à travers la paroi de réservoir ; (w)

I.3.2.1. Le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage

Ce flux de chaleur est égal

$$Q_{st,f} = M_{fc} \cdot C_{pfc} \cdot \frac{dT_{fr}}{dt} \quad (I.26)$$

T_{fr} : la Température dans le réservoir (K)

M_{fc} : la masse de fluide caloporteur dans le réservoir (Kg)

C_{pfc} : la capacité calorifique de fluide caloporteur dans le réservoir ;(J /Kg.K)

I.3.2.2. Le flux utile

Ce flux de chaleur égal :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} \cdot C_{p_{fc}} \cdot (T_{fc} - T_{fe}) \quad (I.27)$$

I.3.2.3. Le flux utilisé dans le bouilleur

Ce flux dépend de l'installation à absorption.

I.3.2.4. Le flux perdu à travers la paroi de réservoir

$$Q_{per} = k_{per} \cdot S_{per} \cdot (T_{fr} - T_a) \quad (I.28)$$

k_{per} : le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir ($w/m^2.K$)

S_{per} : la surface extérieure de réservoir (m^2),

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté des généralités sur les systèmes de chauffage en suite on a cité les différents systèmes de chauffage, en fin, on a fait un bilan thermique sur les différents composants du capteur thermique et sur le ballon de stockage.

CHAPITRE II

II.1.INTRODUCTION

Pour dimensionner une installation de chauffage solaire il est nécessaire de connaître avec une bonne approximation les besoins thermiques. Dans le cas d'une habitation, nous allons définir plusieurs grandeurs représentatives des échanges thermiques avec l'extérieur.

On notera T_i la température de confort que l'on veut maintenir à l'intérieur de l'habitation et T_a la température de l'environnement extérieur.

II.2.Bilan de déperdition thermique [8]

II.2.1.Coefficient de déperdition globale G_v

Ce coefficient, appelé coefficient de déperdition thermique (en W/K), caractérise les déperditions thermiques Q_{th} du bâtiment .on le définit par l'équation suivante :

$$Q_{th}=G_v \cdot (T_i-T_a) \quad (II, 1)$$

II.2.2.Origine des pertes thermiques

II.2.2.1.Les murs de surface S_m

On définit un coefficient K_m (en W/m².k) tel que les pertes thermique par les parois opaques s'écrivant :

$$Q_m=K_m \cdot S_m \cdot (T_i-T_a) \quad (II, 2)$$

Dans le cas d'un mur maçonné (épaisseur e_1 et de conductivité thermique λ_1) avec isolation intérieure (e_2, λ_2), on a :

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_2}} \quad (II, 3)$$

Ou h_1 et h_2 sont respectivement les coefficients de convection+rayonnement entre le mur extérieur et l'environnement à T_a et entre le mur intérieur et l'air intérieur à T_i .

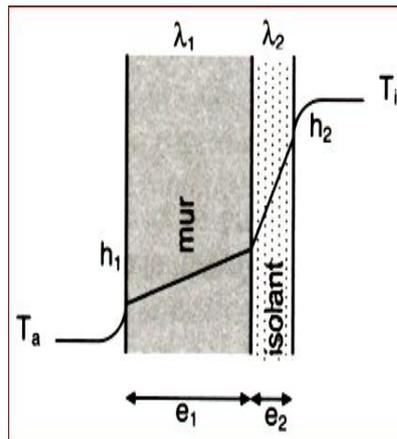


Figure II.1: champ des températures dans un mur composé

II.2.2.2. Les vitrages de surface totale S_v

C'est souvent le point faible de l'isolation thermique des bâtiments anciens. Actuellement le double-vitrage s'est généralisé et les déperditions thermiques sont plus faibles. La conductivité K_v se situe aux alentours de $3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. En remplaçant entre les deux vitres l'air par de l'argon, dont la conductivité est plus faible, on améliore sensiblement la valeur de K_v ($1,5$ à $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$). la puissance perdue par ces surfaces vitrées s'écrit :

$$Q_v = K_v \cdot S_v \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 4})$$

II.2.2.3. Le plancher de surface totale S_p

Les déperditions ont lieu principalement par conduction à travers le dallage posé à même le sol naturel (hérissou) ou bien avec vide sanitaire.

On définit une conductance thermique K_p qui permet d'écrire le flux thermique perdu sous la forme :

$$Q_p = K_p \cdot S_p \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 5})$$

II.2.2.4. La toiture de surface totale S_t

En général c'est une couche de laine de verre (épaisseur e , conductivité λ) qui réalise l'isolation. La puissance perdue s'écrit :

$$Q_t = K_t \cdot S_t \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 6})$$

Avec :

$$K_t = \frac{\lambda}{e} \quad (\text{II, 7})$$

II.2.2.5. Les ponts thermiques

Le plus souvent l'isolation des murs est réalisée à l'intérieur ce qui a pour inconvénient de créer des ponts thermiques au droit des planchers, par exemple. En première approximation on peut dans un avant-projet chiffrer ces pertes à 10 % de celle des parois (murs+fenêtres+toit +plancher).

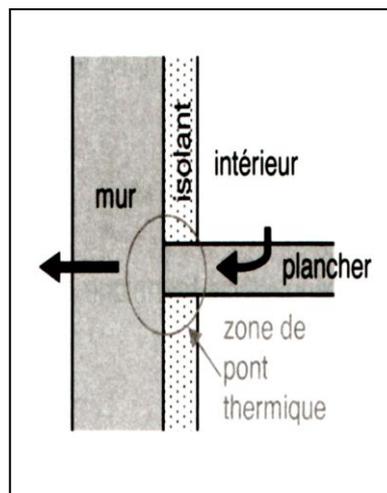


Figure II.2: schéma montrant l'existence d'un pont thermique

II.2.2.6. Le renouvellement d'air

Plus une maison est isolée, plus elle est étanche à l'air. Il se pose alors un problème de renouvellement de l'air vicié. De plus en plus de constructions font appel à une ventilation mécanique contrôlée (VMC) qui aspire l'air intérieur à T_i et le rejette à l'extérieur. La dépression ainsi réalisée crée un appel d'air neuf qui entre à T_a par les ouvertures prévues à cet effet au droit des fenêtres. Mais quand T_a est inférieur à T_i , ce renouvellement d'air entraîne une déperdition calorifique Q_a que l'on peut mettre sous la forme :

$$Q_a = \rho_a \cdot V_a \cdot C_{pa} \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 8})$$

Où ρ_a et C_{pa} sont respectivement la masse volumique et la chaleur massique de l'air tandis que V_a représente le débit volumique de renouvellement d'air.

Finalement on peut écrire :

$$Q_{th} = (Q_m + Q_v + Q_p + Q_t) \times 1,1 + Q_a = G_v \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 9})$$

Ce qui donne :

$$G_V = (k_m S_m + k_v S_v + k_p S_p + k_t S_t) \times 1.1 + \rho_a \cdot V_a \cdot C_{pa} \quad (\text{II, 10})$$

On parle parfois de coefficient de déperdition volumique G (en $W/K.m^3$).

Il suffit de diviser le coefficient G_V par le volume V de l'habitation pour obtenir G :

$$G = \frac{G_V}{V} \quad (\text{II, 11})$$

II.3. Bilan des besoins thermique

II.3.1. Coefficient des besoins thermiques B_V

Le coefficient B_V est le coefficient de besoins thermique. Il se déduit du coefficient G_V en prenant en compte les apports énergétiques dus aux occupants de l'habitation, aux appareils domestiques et aux apports solaires par les fenêtres. Il exprime en W/K .

II.3.2. Température limite sans chauffage T_{sc}

Soient Q_i les apports internes à la maison (en W). On définit une température T_{sc} , dite température sans chauffage, correspondant à la température extérieure à partir de laquelle il n'y a plus besoin de chauffage pour maintenir à la température T_i ($T_i > T_{sc}$) l'intérieur de l'habitation, ceci à cause des apports naturels vus plus haut.

On a donc :

$$Q_i = G_V \cdot (T_i - T_{sc}) \quad (\text{II, 12})$$

et par suite :

$$T_{sc} = T_i - \frac{Q_i}{G_V} \quad (\text{II, 13})$$

II.3.3. Les besoins énergétiques réels Q_e

Les besoins énergétiques réels Q_e sont donnés par l'équation de bilan :

$$Q_e = Q_{th} - Q_i \quad (\text{II, 14})$$

Mais aussi par définition de B_V :

$$Q_e = B_V \cdot (T_i - T_a) \quad (\text{II, 15})$$

On déduit l'égalité suivante :

$$B_V \cdot (T_i - T_a) = G_V \cdot (T_i - T_a) - G_V \cdot (T_i - T_{sc}) \quad (\text{II, 16})$$

Ou encore

$$B_V = G_V \cdot (1 - F) \quad (\text{II, 17})$$

Avec :

$$F = \frac{T_i - T_{sc}}{T_i - T_a} \quad (\text{II, 18})$$

F est appelé facteur d'apports gratuits.

Ce dernier coefficient dépend de nombreux paramètres tel que :

- Le nombre d'occupants du logement,
- Le mode de vie (température de confort, éclairage, appareils électriques,...),
- La situation géographique (ensoleillement, température extérieure,...),
- La construction de la maison (orientation par rapport au sud, dimensions, isolation,...).

Difficile à calculer a priori, le coefficient B_V peut être déduit assez facilement a posteriori par relevé, sur une période déterminée, de la consommation réelle Q_e d'énergie primaire du logement et en utilisant la méthode des degrés jours, explicitée ci-dessous.

De la même façon que pour G_V , on définit un coefficient B (en $W/m^3/k$), appelé coefficient de déperdition volumique effectif donné en divisant le B_V par le volume V de la maison :

$$B = \frac{B_V}{V} \quad (\text{II, 19})$$

II.4.Méthode des degrés jours

Elle permet de calculer les besoins en chauffage d'une habitation.

A un instant donné, la puissance thermique effective nécessaire pour maintenir à T_i l'intérieur de l'habitation s'écrit :

$$Q_e = G_V \cdot (T_{sc} - T_a) \quad (\text{II, 20})$$

La détermination de l'énergie à fournir au logement durant une période Δt s'écrit :

$$Q_e = \int_{\Delta t} G_V \cdot (T_{sc} - T_a) dt \quad (\text{II, 21})$$

Appelons nombre de degrés-jours la quantité suivante :

$$ndj = \int_{\Delta t} (T_{sc} - T_a) dt \tag{II, 22}$$

Le terme dt de l'intégrale correspond au nombre de jours durant lesquels la température de l'air extérieur vaut T_a °C avec, bien sur, $T_a < T_{sc}$. la définition de ndj implique que T_{sc} et T_a représentent des températures moyennes calculées sur la journée. Le nombre de degrés-jours correspond donc au nombre de jours de chauffage multiplié par l'écart de température ($T_{sc} - T_a$) à vaincre.

En considérant que le facteur G_v est constant sur la période étudiée, l'énergie à fournir pour le chauffage s'écrit(en Wj) :

$$Q_e = G_v \cdot ndj \tag{II, 23}$$

Pour obtenir Q_e en KWh, il faut diviser par 10^3 et multiplier par 24 le résultat en Wj, ce qui donne :

$$Q_e = 0.024 G_v \cdot ndj \tag{II, 24}$$

Tableau II.1 : Nombre de degrés-jours ndj à Chlef .Les températures sans chauffage T_{sc} et extérieure T_a sont en degrés Celcius.[9]

		T_{sc}	17	18	19	20	21	22	23
mois	T_a	njm	ndj						
Janvier	11	31	174	204	234	264	294	324	354
Février	12	28	160	190	220	250	280	310	340
Mars	14.8	31	68	99	130	161	192	223	254
Octobre	18.6	30	0	0	12	42	72	102	132
Novembre	13	30	124	155	186	217	248	279	310
Décembre	11.4	31	168	198	228	258	288	318	348

Total		182	942	1125	1308	1491	1674	1857	2040
-------	--	-----	-----	------	------	------	------	------	------

II.5. Dimensionnement et étude thermique

II.5.1. Description de maison étudiée :

Pour étudier le comportement thermique et énergétique du bâtiment, le modèle choisi est défini dans ce chapitre.

Une maison individuelle composée de deux chambres, une salon, une douche, un W_C , un couloir, un balcon et une cuisine, construite avec des matériaux locaux (figure IV.1), située à Chlef dont les coordonnées géographiques sont les suivantes:

Latitude $36^{\circ} 15' 0''$ N,

Longitude $1^{\circ} 15' 0''$ E.

Et les dimensions suivantes :

$B = A = 11\text{m}$. $H = 3.2\text{ m}$,

$S_t = A * B = 121\text{ m}^2$,

$V_t = A * B * H = 387, 2\text{ m}^3$.

Les paramètres du confort thermique à l'intérieur de l'habitat sont :

Température intérieur : 21°C

Humidité relative : 40%

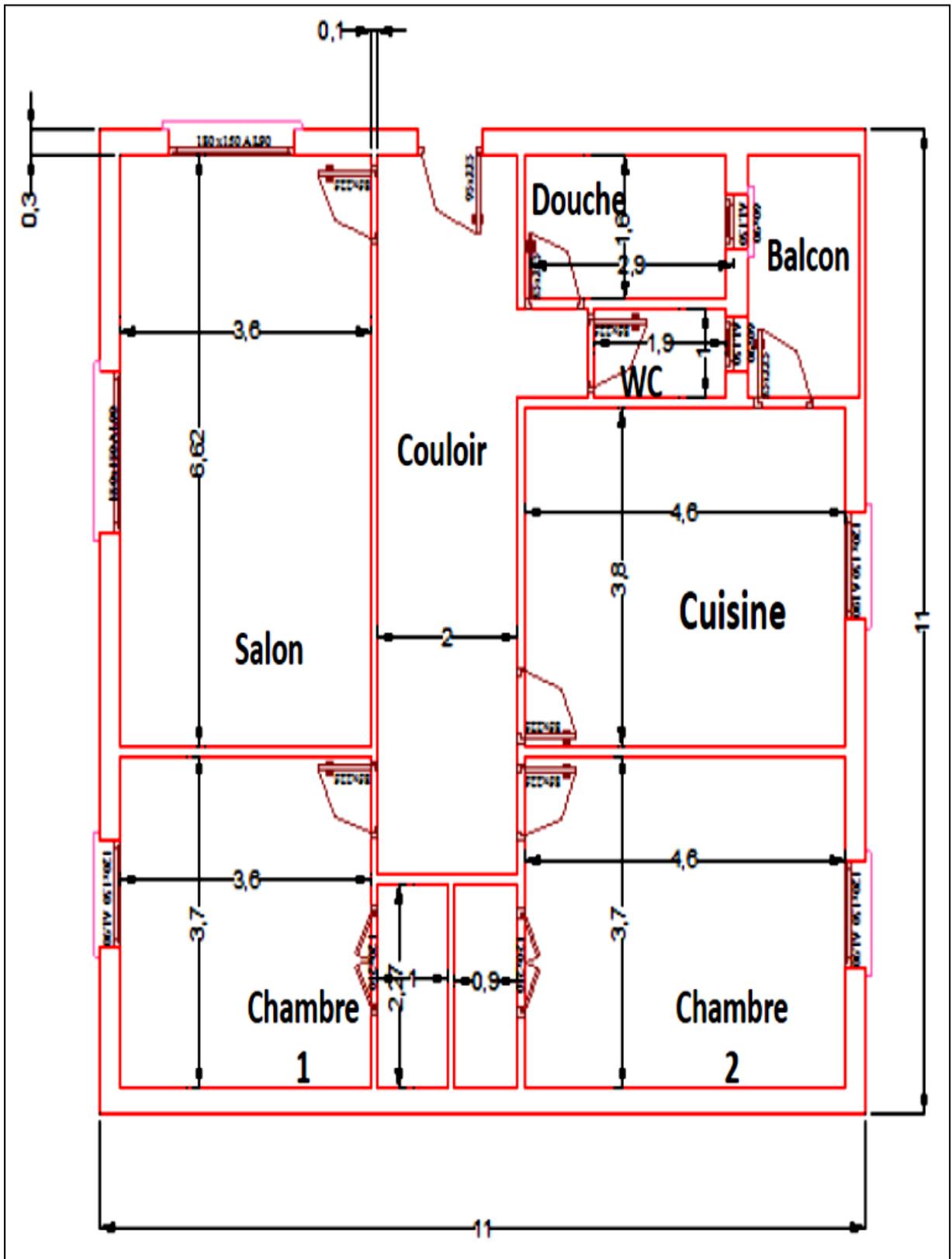


Figure II.3. Plan de l'habitat étudié [1]

II.5.2.Détails des parois de l’enveloppe de l’habitat étudié et calcul des résistances thermiques

Les parois constituant l’enveloppe de l’habitat sont détaillées comme suit, sous forme de tableaux et les résistances thermiques respectives sont calculées.

Les coefficients de transmission thermique U sont déduits par la suite pour chaque paroi.

II.5.2.1.Matériaux constituant le mur extérieur

Les matériaux constituant le mur extérieur sont représentés au tableau (II.2) :

Tableau II.2 : Matériaux constituant le mur extérieur.

Matériau	Épaisseur e (cm)	Conductivité thermique (W/mK)	Résistance thermique R (m²K/W)	Schéma du mur extérieur
1/hi			0.11	
Plâtre	1	0.52	0.0192	
Mortier de ciment	2	1.4	0.014	
Brique à 12 trous	15	0.214	0,7	
Air peu ventilée	5	0.5882	0,085	
Brique à 8 trous	10	0.143	0,7	
Mortier de ciment	2	1,4	0.014	
1/he			0.06	
			$R_{ME} = 1.7028$	

$$R_{ME} = \sum R = R_i + \frac{e_{\text{platre}}}{\lambda_{\text{platre}}} + \frac{e_{\text{mortie}}}{\lambda_{\text{mortie}}} + R_{\text{brique}} + R_{\text{air}} + R_{\text{brique}} + \frac{e_{\text{mortie}}}{\lambda_{\text{mortie}}} + R_e \quad (II.25)$$

$$U_{ME} = \frac{1}{R_{ME}} = 0.587 \text{ W/m}^2\text{K}$$

II.5.2.2. Matériaux constituant le plancher haut (toit)

Les matériaux constituant le plancher haut sont représentés au tableau (II.3) :

Tableau II.3 : Matériaux constituant le plancher haut.

Matériau	Epaisseur e (cm)	Conductivité thermique (W/mK)	Résistance thermique R (m²K/W)	Schéma du plancher haut
1/hi			0.09	
Plâtre	1	0.520	0.0192	
Béton hourdis allégé	12	1.091	0,110	
Polystyrène	10	0.04	2.5	
Bitume	2	0.042	0.476	
			R _{PH} = 3.195	

$$R_{ME} = \sum R = R_i + \frac{e_{\text{platre}}}{\lambda_{\text{platre}}} + R_{\text{Hourdis}} + \frac{e_{\text{poly}}}{\lambda_{\text{poly}}} + \frac{e_{\text{bitume}}}{\lambda_{\text{bitume}}} \quad (II.27)$$

$$U_{PH} = \frac{1}{R_{PH}} = 0,313 \text{ W/m}^2\text{K}$$

II.5.2.3. Matériaux constituant le plancher bas

Les matériaux constituant le plancher bas sont représentés au tableau (II.4) :

Tableau II.4 : Matériaux constituant le plancher bas.

Matériau	Epaisseur e (cm)	Conductivité thermique (W/mK)	Résistance thermique R (m²K/W)	Schéma du plancher bas
1/hi			0.17	
Carrelage	2	11.765	0.0017	
Sable + Mortier	3	0.1	0.3	
Béton	15	1.75	0.0857	
Polystyrène	6	0.04	1.5	
Bitume	10	1.75	0.057	
			R _{PH} = 2.1145	

$$R_{ME} = \sum R = R_i + R_{\text{carrelage}} + \frac{e_{\text{mortie}}}{\lambda_{\text{mortie}}} + \frac{e_{\text{Béton}}}{\lambda_{\text{Béton}}} + \frac{e_{\text{polys}}}{\lambda_{\text{polys}}} + \frac{e_{\text{Béton}}}{\lambda_{\text{Béton}}} \quad (\text{II.28})$$

$$U_{PH} = \frac{1}{R_{PH}} = 0,473 \text{ W/m}^2\text{K}$$

II.5.2.4. Les ouvrants (les fenêtres et les portes)

Pour les fenêtres, le coefficient de conductivité thermique de Vitrage est $=0.015 \text{ W/m K}$, avec un épaisseur de $e = 5 \text{ mm}$, d'où le coefficient de transmission thermique du vitrage $U_{\text{vitrage}} = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Les portes en bois, nous prenons en considération la porte extérieure d'une surface de $SPE = 1,853 \text{ m}^2$, avec une conductivité de bois $= 0.025 \text{ W/m K}$, et un épaisseur de 32 mm , d'où le coefficient de transmission thermique de la porte $U_{\text{vitrage}} = 0.781 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tableau I.5 : Coefficients de transmission thermique fixé par la norme belge.

Toitures	$U_{\text{max}} = 0.3 \text{ W/m}^2. \text{ K}$
Murs extérieurs	$U_{\text{max}} = 0.4 \text{ W/m}^2. \text{ K}$
Sols en contact avec l'extérieur	$U_{\text{max}} = 0.6 \text{ W/m}^2. \text{ K}$
Autres sols (en contact avec la terre, au dessus d'une cave...)	$U_{\text{max}} = 0.4 \text{ W/m}^2. \text{ K}$

Si on compare les valeurs des U_{parois} de l'habitat étudié ;

$U_{ME} = 0,587 \text{ W/m}^2\text{K}$ légèrement supérieur à la valeur fixée par la norme belge,

$U_{PH} = 0,313 \text{ W/m}^2\text{K}$ correspond à la norme,

$U_{PB} = 0,473 \text{ W/m}^2\text{K}$ est conforme à la valeur fixée par la norme belge.

II.5.3. Evaluation total pour les besoin de chauffage

II.5.3.1. Calcul de coefficient de déperdition global

Tableau I.6 : Coefficients d'échange thermique total de l'habitation.

Source de déperdition thermique	Surface S m^2	Coefficient d'échange thermique U ($\text{W/m}^2.\text{K}$)	U.S (W/K)
Murs	128.378	0,587	75.358
Vitres	9.08	3	27.09
Porte extérieur	1,853	0.781	1.447
plancher	104	0,473	49.192

toit	104	0,313	32.552
TOTAL			185.639

Pour tenir compte des ponts thermiques, on ajoute au total précédent, 10% de sa valeur, soit : 18.563 W/K.

Le débit \tilde{v}_a de renouvellement d'air s'élève à la moitié du volume de la maison par heure. Soit $387.2/2=193.6\text{m}^3/\text{h}$ ou encore $193.6/3600=0.054\text{m}^3/\text{s}$ ce qui donne :

$$\rho_a \cdot C_{p_a} \cdot \tilde{v}_a = 1.225 \cdot 1002 \cdot 0.054 = 66.282 \text{W/k.}$$

$$\text{On a donc : } G_v = 185.639 \cdot 1.1 + 66.282 = 270.485 \text{W/k.}$$

$$\text{Ce qui donne un coefficient } G = G_v/V = 270.485/387.2 = 0.699 \text{ W/m}^3\text{k.}$$

On veut maintenir une température intérieure $T_i = 21^\circ\text{C}$ durant les mois : janvier, février, mars, octobre, novembre, décembre (pour les autres mois $T_i > 21$).

Tableau I.7: Variation de la température extérieure moyenne mensuelle.

Mois	Janvier	Février	Mars	Octobre	Novembre	décembre
T° extérieure	11	12	14.8	18.6	13	11.4

II.5.3.2. Calcul de la température limite sans chauffage

Les apports internes gratuits Q_i est de 520 W et sont supposés constants,

$$T_{sc} = 21 - \frac{520}{270.485} = 19^\circ\text{C.}$$

Pour ces mois, en se reportant au tableau V.1, on lit :

Tableau I.8: Variation du nombre degrés-jours mensuel pour une T_{sc} de 19°C .

Mois	Janvier	Février	Mars	Octobre	Novembre	décembre
ndj	234	220	130	12	186	228

II.5.3.3. L'énergie nécessaire pour le chauffage

L'énergie nécessaire pour le chauffage est représentée par la formule suivante :

$$Q_e = 0.024 \cdot 270.485 \cdot \text{ndj} = 6.4916 \cdot \text{ndj.}$$

Tableau II.9 : Représentation des besoins mensuels en énergie pour le chauffage.

Mois	Janvier	Février	Mars	Octobre	Novembre	décembre
Q _e (kWh)	1519.034	1428.152	843.908	77.899	1207.438	1480.085

Pour la période annuelle de chauffage, qui s'étend, d'après le tableau, du mois octobre au mois de mars (pour $T_{sc}=18^{\circ}\text{C}$), on obtient :

$$Q_e = 0.024 * 270.485 * \sum ndj = 6.4916 * 1010 = 6556.516 \text{KWh.}$$

II.6.Conclusion

Après les calculs des différentes résistances thermiques des parois de l'enveloppe, nous concluons que notre habitation est concorde aux normes internationales.

Les murs extérieurs sont légèrement moins isolés, puisque le coefficient de transmission thermique $U_{ME}=0,587 \text{ W/m}^2.\text{K}$ légèrement supérieur à la valeur fixée par la communauté européenne.

L'énergie totale nécessaire pour le chauffage de l'habitation est de 6556.516KWh.

Conclusion Générale

Au terme de ce travail mené dans le but d'étudier le chauffage solaire destiné à une habitation, Les principales conclusions tirées sont comme suit :

Rappelons que l'objectif fixé dans ce travail qui consiste à l'étude du chauffage solaire destiné à une habitation a été atteinte.

Une présentation théorique du chauffage solaire nous a permis de bien détailler ce processus, ses éléments ainsi que le rôle de chacun d'eux dans cette opération. La détermination des charges des enceintes (étages) en fonction de divers facteurs nous a permis de dimensionner et sélectionner les éléments de l'installation.

Ce travail nous a permis de nous continuer notre projet d'ingénierie. il nous a en plus permis de maîtriser certaines notions sur le chauffage qui demeure un domaine passionnant.

Finalement nous ne pouvons terminer ce projet sans espérer une continuité dans cet axe de recherche, les futurs mémoires devront traiter ce phénomène sous tous ses aspects et ajouter les deux circuits climatisation solaire et l'eau chaude sanitaire pour bâtiment.

- [1] Efficacité Energétique dans les Bâtiments, Transformer le Marché, World Business Council for Sustainable Development, rapport international du WBCSD 2009, URL : cdurable.info/Efficacite-Energetique-dans-les-Batiments-Rapport-International-WBCSD,1698.html
- [2] **Arif Hepbasli**, « Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 73– 104
- [3] **M. Amirat , S.M.K. El Hassar** « Economies d’Energie dans le Secteur de l’Habitat Consommation Electrique des Ménages- Cas d’un foyer algérien typique en période d’hiver », *Rev.Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 27 – 37.*
- [4] Manuel de Fabrication et installation du chauffage solaire bon marché (CESBM) – Société du Soleil
http://www.sabesp.com.br/pura/dicas_testes/conserva_limpa_cx_dagua.htm consulté février 2013.
- Notes pour une norme technique Juillet 2005 – Version VII.
- [5] **Mme Muriel Hoogstoel**, Utilisation domestique de l’énergie solaire : Les chauffe-eau solaires Support écrit pour l’architecte, janvier 2004
- [6] **Guendouz B.** Projet de fin d’étude pour ingénieur d’état en génie mécanique <<Etude d’un système de réfrigération solaire a absorption (application a une chambre froide)>>,2008.
- [7] **Guendouz B.** Projet de fin d’étude pour master en génie mécanique <<Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation>>, 17 avril 2013.
- [8] **J, Bernard.** « Energie solaire calculs et optimisation » Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [9] **Andre Joffre**, cours d’Alsace, Tecsol , FORMATION Strasbourg Janvier 2004, www.tecsol.fr.

BIBLIOGRAPHIE