



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE DE BATNA

Faculté de Technologie

Département Mécanique

Mémoire de Magister en Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

FITES Djamel

Ingénieur d'état en Mécanique de l'université de Batna
Pour obtenir le diplôme de Magister en Mécanique

Thème

*COMPARAISON TECHNICO-ECONOMIQUE ENTRE DIFFERENTES
INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION DES LOCAUX*

Mémoire soutenu le : / / 2014

Devant le jury composé de :

<u>Jury</u>	<u>Grade</u>	<u>Affiliation</u>	<u>Qualité</u>
- RAHAL SAMIR	Prof	Université de Batna	Président
- BOUGRIOU CHERIF	Prof	Université de Batna	Rapporteur
- SI AMEUR MOHAMED	Prof	Université de Batna	Examineur
- SI ABDELLAH MAYOUF	M.C.A	Université de Msila	Examineur

Remerciement

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné courage et patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et mes profondes gratitudees à mon promoteur :

***BOUGRIOU Chérif** d'avoir suivi mon travail et d'avoir mis à ma disposition tout le matériel nécessaire.*

*J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur. **RAHAL SAMIR**, professeur à université de BATNA, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Je remercie Messieurs, **SI AMEUR MOHAMED** professeur à université de BATNA, **SI ABDELLAH MAYOUF M.C.A** à Université de MSILA, pour m'avoir fait l'honneur de participer et d'examiner mon travail.*

Je remercie infiniment tous les enseignants qui ont contribué à notre formation,

Je tiens aussi à remercier tous mes collègues pour leur aide matériel et leur soutien moral durant notre formation.

En définitive, je remercie mon père et ma mère (رحمهم الله), ma femme, mon proche entourage, familial et amical.

SOMMAIRE

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction	02
1. Problématique	03
2. Hypothèses	03
3. Objectifs.....	04
4. Plan de travail	04

CHAPITRE 1 : Bilan Thermique

1-Principe du bilan thermique d'hiver	06
2-Calcul des déperditions.....	06
2-1.Objectifs du calcul des déperditions.....	06
2-2. Bases de calcul	07
2-2.1. Principe généraux.....	07
2-2.2. Expression générale des déperditions.....	07
2-2.2.1. Déperditions totales d'un logement.....	07
2-2.2.2. Déperditions totales d'un volume	07
2-2.2.3. Déperditions par transmission d'un volume.....	08
2-2.2.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume	09
2-2.2.5. Relation entre les déperditions de logement et les déperditions des volumes	09
2-2.3. Vérification et déperditions de référence.....	09
2-2.3.1.Vérification réglementaire	09
2-2.3.2. Calculs des déperditions de référence	09
2-2.4. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois.....	11
2-2.4.1. Expression générale	11
2-2.4.1.1. Parois séparant deux ambiances à des températures différentes	11
2-2.4.1.2. Paroi séparant deux ambiances à la même température.....	11
2-2.5. Limites de calcul	11
2-2.6. Coefficient d'échange global K des parois opaques	11
2-2.6.1. Principes de calcul.....	11
2-2.6.2. Expression générale.....	12

2-2.6.3. Résistance thermique d'une couche homogène	13
2-2.6.4. Résistance thermique d'une couche hétérogène	13
2-2.6.4. Résistance thermique d'une lame d'air	13
2-2.7. Coefficient K des parois vitrées	13
2-2.7.1. Limites du calcul.....	13
2-2.7.2. Expression générale	13
2-2.8 Coefficient K des portes	15
2-2.9. Déperditions à travers les ponts thermiques.....	15
2-2.10. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés	18
2-2.11. Déperditions par renouvellement d'air	19
2-2.11.1. Calcul des déperditions par renouvellement d'air	19
2-2.11.2. Débit spécifique de ventilation	19
2-2.11.3. Débit supplémentaire par infiltration due au vent.....	21
2-2.12. Déperdition par transmissions à travers les parois en contact avec le sol	23

CHAPITRE 2 : Différentes Installations de Chauffage

1- Le chauffage	25
1-2.1 Classement des systèmes de chauffage	25
1-2.2 Chauffage individuel.....	26
1-2.3 Chauffage central	26
1-2.4 Avantages et inconvénients	26
2- Les différents modes de chauffage.....	27
2-1 Le chauffage électrique.....	27
2-2 Le chauffage au gaz naturel	28
2-3 Chauffage au fioul	30
2-4 La pompe à chaleur (PAC)	31
2-4.1 Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur	31
2-4.3 Cycles de fonctionnement d'une PAC	31
2-4.2 Les phénomènes de transfert thermique	31
2-4.3 Cycles de fonctionnement d'une PAC	33
2-4.3.1 Le système à compression	33
2-4.3.2 Le cycle idéal d'une pompe à chaleur	34

2-4.4 Coefficient de performance (COP)	36
2-5 Systèmes de Chauffage Solaire	38
2-5.1 Énergie solaire photovoltaïque	39
2-5.2 Énergie solaire thermique	40
2-5.3 Capteurs solaires	40
2-5.3.1 Bases de captation	40
2-5.3.2 Types de capteurs solaires	40
2-5.3.3 Capteurs plans de types vitres	42
2-5. 4 Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires	45
2-5.5 Rudiments d'un système de chauffage solaire	46
2-5.6 Systèmes de chauffage solaire passifs	47
2-5.7 Systèmes de chauffage solaire actifs	47
2-5.8 Système de capteurs solaires	50
2-5.9 Système de distribution	50
2-6 Le système solaire combiné	51
3- Calcul de la puissance de chauffage	53
3-1 Pour un système de chauffage à gaz par radiateur ou par plancher chauffant	54
3-2 Pour un système de chauffage par pompe à chaleur	54
3-3 Pour un système de chauffage électrique	56
3-4 Pour un système de chauffage au fuel	56
3-5 Pour un système de chauffage par énergie solaire	57
4- La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage	60

Chapitre 3 : Etude technico-économique

1- Introduction	62
2- Plan du local	62
3- Méthode de calcul	62
3-1 Déperditions Pour le Rdc et le 1er Etage	67
3-2 Les déperditions de Référence	67
3-3 Calcul de la Puissance de chauffage	67
3-4 Consommation mensuelle de la chaleur	68
3-5 La Consommation mensuelle d'énergie	68

3-6 Coûts d'énergie mensuelle consommée pour les différents types de chauffage.....	69
3-7 Coûts d'énergie mensuelle consommée pour le système solaire combiné.....	70
3-7.1 Irradiation globale.....	70
3-7.2 Energie récupérée par les capteurs solaires	73
3-8 Le coût de l'installation de différents types de chauffages.....	79
3-9 Tableaux récapitulatif des coûts des différents modes de chauffage	81
Conclusion Générale	83
Références.....	85
Annexes	87
Références.....	96

NOMENCLATURE

Symbole	Définition	Unités
C_p	Chaleur spécifique de l'air	[J/kg. °C]
Q	Chaleur utile	[W]
e_{vi}	Coefficient adimensionnel d'exposition	-
K	Coefficient d'échange global K des parois opaques (conductance)	[W/m ² °C]
h_i	Coefficients extérieur d'échange superficiel	[W/m ² °C]
h_e	Coefficients intérieur d'échange superficiel	[W/m ² °C]
C_{in}	Coefficient de surpuissance	-
COP	Coefficient de performance	-
τ	Coefficient de réduction de température	-
K_{vn}	Coefficient K du vitrage nu	[W/m ² °C]
k_l	Coefficient de transmission linéique de la liaison	[W/m.°C]
k_s	Coefficient de transmission linéique	[W/m.°C]
λ_i	Conductivité thermique du matériau	[W/m.°C]
λ_{occ}	Conductivité thermique du matériau constituant l'occultation.	[W/m.°C]
q	Consommation totale de chaleur du bâtiment par jour	[W]
$Q_{Vr\acute{e}f}$	Débit extrait de référence	[m ³ /h]
Q_{Vmax}	Débit extrait maximal de référence	[m ³ /h]
Q_{Vmin}	Débit extrait minimal de référence.	[m ³ /h]
\dot{m}_i	Débit massique	[kg/s]
Q_v	Débit spécifique de ventilation.	[m ³ /h]
Q_s	Débit spécifique supplémentaire par infiltration dues au vent.	[m ³ /h]
\dot{V}	Débit volumique de gaz	[m ³ /s]
D	Déperditions totales d'un logement	[W/°C]
D_i	Déperditions totales d'un volume	[W/°C]
D_T	Déperditions par transmission du volume	[W/°C]
D_R	Déperditions par renouvellement d'air du volume	[W/°C]
D_s	Déperditions surfaciques à travers les parties courantes	[W/°C]

D_{li}	Déperditions à travers les liaisons	[W/°C]
D_{sol}	Déperditions à travers les parois en contact avec le sol	[W/°C]
D_{inc}	Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés	[W/°C]
D_{RV}	Déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation	[W/°C]
D_{RS}	Déperditions supplémentaires dues au vent	[W/°C]
$D_{réf}$	Déperditions de référence	[W/°C]
D_s	Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	[W/°C]
e_{occ}	Epaisseur de l'occultation.	[m]
e_i	Epaisseur de la couche de matériau	[m]
α	Facteur d'absorption de l'absorbeur.	-
τ	Facteur de transmission du vitrage	-
β	Facteur optique du capteur	-
L	Longueur intérieure de la liaison	[m]
ρ	Masse volumique de l'air	[kg/m ³]
N	Nombre de jours de chauffage	-
P	Périmètre intérieur	[m]
P_{pi}	Perméabilité à l'air de la paroi	[m ³ /h]
P_{ci}	Pouvoir calorifique inférieur de gaz	[Wh/m ³]
E	Puissance solaire incidente	[W/m ²]
E_u	Puissance utile du capteur	[W/m ²]
C_r	Ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries	-
η	Rendement	-
R	Résistance thermique ; cas général	[m ² °C/ W]
r_v	Résistance supplémentaire des voilages éventuels	[m ² °C/ W]
r_{rid}	Résistance supplémentaire des rideaux éventuels	[m ² °C/ W]
r_{occ}	Résistance supplémentaire des occultations	[m ² °C/ W]
S	Surface de la grille de ventilation	[m ²]
A	Surface intérieure de la paroi	[m ²]
T_i	Température intérieure de confort	[°C]
T_n	Température de l'espace non chauffé.	[°C]
T_e	Température extérieure de base	[°C]
W	Travail	[W]
v	Vitesse d'entrée de l'air de la PAC	[m/s]
V_h	Volume habitable	[m ³]

Chapitre introductif

Introduction

Un des défis du XXI^e siècle est le développement durable qui se résume en trois critères : environnement, énergie, et économie. C'est à dire maintenir la qualité de vie pour une population croissante, avec des attentes de confort de plus en plus élevées, tout en respectant l'environnement. La production et la gestion d'énergie nécessaires pour répondre à ces attentes seront essentielles dans les prochaines années.

La fonction essentielle d'une habitation est d'assurer une ambiance intérieure bien adaptée à nos besoins et à notre confort. L'habitant place souvent son confort avant les économies d'énergie. Dans le but d'utiliser au mieux l'énergie, il convient donc de planifier des installations de façon à consommer moins d'énergie tout en assurant un confort convenable.

C'est dans cette optique que notre travail vient de s'inscrire. On compare les coûts de consommation d'énergie des différents types d'installation de chauffage pour la période hivernale d'une villa. On compare entre le chauffage central, le chauffage individuel, la pompe à chaleur, système solaire combiné, etc, selon les trois critères cités au dessus.

L'étude technico-économique concernera notre pays l'Algérie qui sera donnée en Dinars Algériens.

Cette étude permet aux décideurs et aux citoyens de faire le bon choix de l'installation de confort (conditionnement d'air : chauffage). Dans cette étude les déperditions thermiques seront calculées selon les règles techniques en vigueur en Algérie.

1. Problématique

Le niveau de vie des Algériens depuis quelques années s'est amélioré, cette amélioration se concrétise dans l'évolution des constructions à titre d'exemple les villas. Ce type d'habitat implique une grande consommation d'énergie pour des besoins de chauffage, et l'habitant place souvent son confort avant les économies d'énergie. Dans ce contexte il est nécessaire de faire une étude thermique et économique des différents types d'installation de chauffage. Pour cette présente étude, on a choisi une villa parmi les plus courantes en Algérie.

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif notamment le confort thermique des villas. A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

Quelle sont les stratégies à adopter pour assurer le confort thermique à l'intérieur d'une villa ?

2. Hypothèse

A toute question de recherche nous devons émettre certaines hypothèses qui peuvent être confirmées ou infirmées à la fin de notre étude :

On prend en charge les calculs des déperditions thermiques qui déterminent la quantité de chaleur à fournir pour le chauffage, et on compare les coûts de consommation d'énergie des différents types d'installations de chauffage.

3. Objectif

Notre recherche a pour objectif de chercher les stratégies de conception à adopter pour assurer un confort thermique en faisant une comparaison entre les différents types d'installations de chauffage.

4. Plan du travail

Le travail de cette étude est organisé comme suit :

Une introduction générale de ce travail.

Le premier chapitre explique les méthodes de calcul des déperditions thermiques avec les règles de calcul de la réglementation thermique en vigueur en Algérie. Les méthodes de calcul présentées dans : DTR (document technique réglementaire) sont des méthodes simples testées par ailleurs, suffisantes en principe de trouver des solutions technique admissibles, bien étendu.

Le deuxième chapitre est consacré aux Calculs technico-économiques des différentes installations.

Le troisième chapitre est consacré aux discussions des résultats.

Enfin, ce mémoire sera achevé par des conclusions et des perspectives sur les travaux de recherche.

Chapitre 1

Bilan thermique

1-Principe du bilan thermique d'hiver

Le bilan thermique permet d'estimer la puissance de chauffe à installer pour combattre les déperditions d'un local, celles-ci sont égales les déperditions à travers les parois et les déperditions par le flux d'air d'un local.

2-Calcul des déperditions

Calculer les déperditions thermiques c'est déterminer la quantité de chaleur à fournir pour le chauffage d'une pièce à température donnée. Cette chaleur fournie compense les pertes par les parois et l'aération du local, on peut synthétiser les différentes déperditions thermiques d'un bâti:

- par transmission à travers les murs et parois,
- par les liaisons entre murs et parois,
- par les sols et planchers,
- par la ventilation naturelle ou forcée.

2-1.Objectifs du calcul des déperditions

Le calcul des déperditions doit être effectué pour répondre à trois préoccupations :

- La plus évidente étant le dimensionnement : ce calcul nous fournira la puissance émise vers l'extérieur et donc la puissance des radiateurs nécessaire.
- Le calcul des déperditions est également un outil de vérification. En effet, il faut essayer de limiter les déperditions dans la mesure du possible (en choisissant des matériaux adaptés pour les parois), afin d'éviter le gaspillage d'énergie.
- Enfin, le calcul des déperditions nous permettra d'avoir accès au calcul des consommations d'énergie, celles-ci lui étant proportionnelles, et donc nous permettra de vérifier que ces consommations restent raisonnables et conformes à la Réglementation Thermique de (D.T.R C 3-2)

2-2. Bases de calcul

2-2.1. Principe général :

Le calcul des déperditions d'une maison repose sur :

- définir les volumes thermiques,
- calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d'air,

2-2.2. Expression générale des déperditions

2-2.2.1. Déperditions totales d'un logement :

Les déperditions totales pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par : [1]

$$D = \sum D_i \quad [W/°C] \quad (1.1)$$

Où (D_i) représentent les déperditions totales du volume i .

2-2.2.2. Déperditions totales d'un volume :

Les déperditions totales d'un volume i (**figure 1.1**) sont données par : [1]

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \quad [W/°C] \quad (1.2)$$

Où :

- $(D_T)_i$ représente les déperditions par transmission du volume i .
- $(D_R)_i$ représente les déperditions par renouvellement d'air du volume i [1].

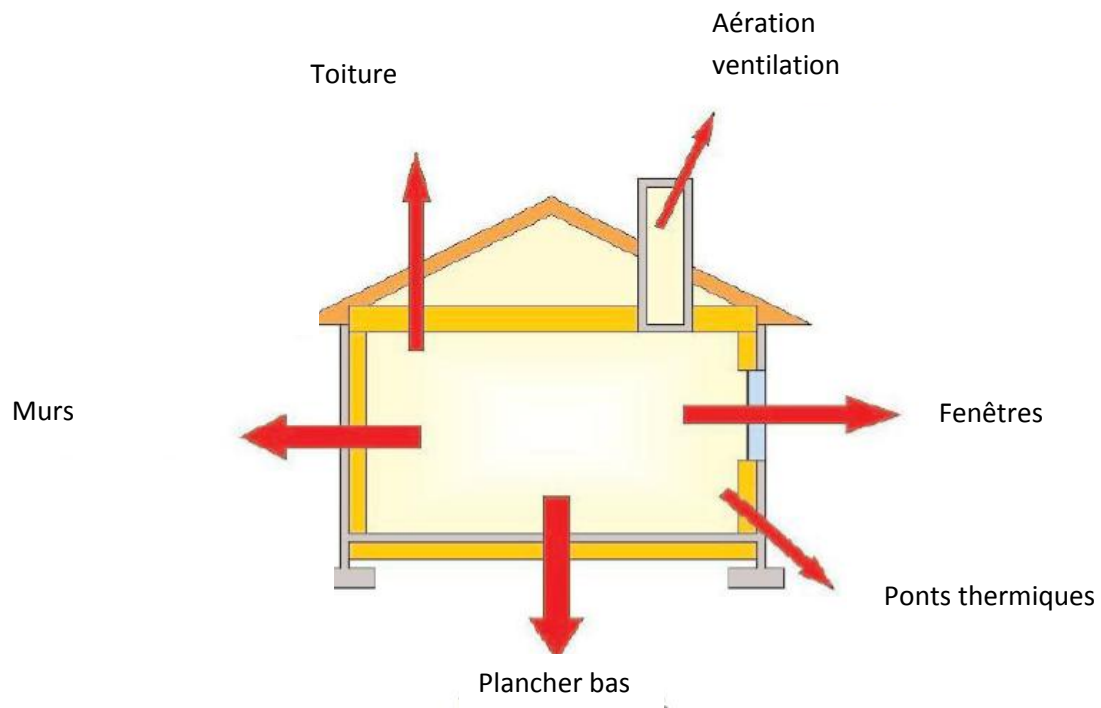


Figure 1.1 : Répartition des déperditions dans une maison individuelle [2]

2-2.2.3. Déperditions par transmission d'un volume :

Les déperditions thermiques par transmission $(D_T)_i$ d'un volume i sont données par : [1]

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \quad [W/^\circ C] \quad (1.3)$$

Où :

- $(D_s)_i$ représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur.
- $(D_{li})_i$ représente les déperditions à travers les liaisons.
- $(D_{sol})_i$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol.
- $(D_{inc})_i$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

2-2.2.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume :

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume i $(D_R)_i$ sont données par : [1]

$$(D_R)_i = (D_{RV})_i + (D_{RS})_i \quad [W/^\circ C] \quad (1.4)$$

Où :

- $(D_{RV})_i$ représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.
- $(D_{RS})_i$ représente les déperditions supplémentaires dues au vent.

2-2.2.5. Relation entre les déperditions de logement et les déperditions des volumes :

- ❖ Les déperditions par transmission du logement sont égales à la somme des déperditions par transmission des différents volumes i , soit $D_T = \sum(D_T)_i$.
- ❖ Les déperditions par renouvellement d'air du logement sont égales à la somme des déperditions par renouvellement d'air des différents volumes i , soit $D_R = \sum(D_R)_i$.

2-2.3. Vérification et déperditions de référence

2-2.3.1. Vérification réglementaire :

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier : [1]

$$D_T \leq 1.05 D_{réf} \quad [W/^\circ C] \quad (1.5)$$

- (D_T) représente les déperditions par transmission du logement.
- $(D_{réf})$ représente les déperditions de référence.

2-2.3.2. Calculs des déperditions de référence :

Les déperditions de référence sont calculées par la formule suivante : [1]

$$D_T = a S_1 + b S_2 + c S_3 + d S_4 + e S_5 \quad [W/^\circ C] \quad (1.6)$$

Où:

Les S_i en (m^2) , représente les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol, elles concernent respectivement :

- S_1 La toiture.
- S_2 Le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés ou sur sols.
- S_3 Les murs.

- S_4 Les portes.

- S_5 Les fenêtres et les portes-fenêtres

S_1, S_2 et S_3 Sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.

Les coefficients (**a, b, c, d, e**) [$W/m^2\text{°C}$] sont donnés dans le tableau 1.1. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

Zone	Logement individuel					Logement en immeuble collectif				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
A	1,10	2,40	1,40	3,50	4,50	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50
B	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
B'	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
C	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,85	2,40	1,20	3,50	4,50
D	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50
D'	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50

Tableau 1.1 : Les coefficients (**a, b, c, d, e**) en [$W/m^2\text{°C}$] [1]

Pour le calcul des déperditions de référence, on ne prend pas en compte les déperditions de références par renouvellement d'air.

Les coefficients (**a, b, c, d, e**) correspondent en fait à des coefficients **K** globaux bien entendus, ils ne représentent pas chacun une valeur limite intrinsèque à ne pas dépasser puisque seul le total de l'addition est caractéristique et que des compensations sont possibles.

2-2.4. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

2-2.4.1. Expression générale

2-2.4.1.1. Parois séparant deux ambiances à des températures différentes

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances qui séparent ces parois, sont données par la formule : [1]

$$D_s = K \times A \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (1.7)$$

Où :

- K en $[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$ est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussi conductance).
- A en (m^2) est la surface intérieure de la paroi.

2-2.4.1.2. Paroi séparant deux ambiances à la même température

Dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles.

Les flux de chaleur d'un volume à un autre, dans un logement, ne doivent pas être pris en compte, à condition que les pièces aient des températures différentes.

2-2.5. Limites de calcul

Pour les panneaux légers à parement et ossature conducteurs avec ou sans coupure isolante, pour les panneaux sandwichs, et d'une façon générale pour tous les procédés de construction non traditionnels, le coefficient K à utiliser dans les calculs est celui donné par le document d'avis technique. Ou à défaut celui fourni par le fabricant.

2-2.6. Coefficient d'échange global K des parois opaques

2-2.6.1. Principes de calcul

Si la paroi est homogène sur toute sa surface, le coefficient K à utiliser est celui calculé pour la partie courante.

2-2.6.2. Expression générale

Le coefficient d'échange global K est donné par la formule : [1]

$$\frac{1}{k} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}] \quad (1.8)$$

Où :

- $\sum R$ représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature du matériau, c'est-à-dire s'il est homogène ou non [1].

- $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ représente la somme des coefficients d'échange superficiel, prise conformément aux conventions adoptées.

Pour une toiture, les matériaux de protection placés au dessus de l'étanchéité ne sont pas pris en compte dans le calcul du coefficient K [1].

Les résistances thermiques d'échanges superficiels extérieur $r_e = \frac{1}{h_e}$ et intérieurs $r_i = \frac{1}{h_i}$, sont données dans le tableau suivant :




$\frac{1}{h}$ en $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha = 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher) $\alpha < 60^\circ$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tableau 1.2 : Les résistances thermiques d'échanges superficiels

2-2.6.3. Résistance thermique d'une couche homogène

La résistance thermique d'une couche est donnée par la formule suivante : [1]

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \frac{\text{C}}{\text{W}}] \quad (1.9)$$

- R_i représente la résistance thermique de la couche i .
- e_i en(m) représente l'épaisseur de la couche de matériau.
- λ_i en (W/m. °C) représente la conductivité thermique du matériau.

2-2.6.4. Résistance thermique d'une couche hétérogène

La résistance thermique d'une couche hétérogène est donnée directement en fonction de l'épaisseur de la couche de matériau. Les valeurs des résistances thermiques sont soit tirées des tableaux données en annexe, soit fournies par le document d'avis techniques, ou à défaut par le fabricant.

2-2.6.5. Résistance thermique d'une lame d'air

La résistance thermique d'une lame d'air est obtenue à partir du tableau 1.3.

Position de la lame d'air	Sens du flux de chaleur	Epaisseur de la lame d'air en mm						
		5 à 7	8 à9	10 à 11	12 à 13	14 à 24	25 à 50	55 à 300
Horizontale	Ascendant	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
Verticale		0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
Horizontale	descendant	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20

Tableau 1.3 : Résistance thermique de la lame d'air [1]

2-2.7. Coefficient K des parois vitrées

2-2.7.1. Limites du calcul

Les parois vitrées sont celles dont les menuiseries sont en bois, ou métallique, de fabrication courante. Pour tout autre type de menuiserie, on pourra se reporter aux avis techniques les concernant, ou à défaut se rapprocher du fabricant [1].

2-2.7.2. Expression générale

Le coefficient K des parois vitrées est donné par la formule suivante : [1]

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}] \quad (1.10)$$

Où :

- K_{vn} en (W/m². °C) représente le coefficient K du vitrage nu, voir tableau 1-4.
- r_v en (m². °C/W) représente la résistance supplémentaire des voilages éventuels, on adapte :
 $r_v = 0.025$.
- r_{rid} en (m². °C/W) représente la résistance supplémentaire des rideaux éventuels on adapte :
 $r_{rid} = 0.030$
- r_{occ} (m². °C/W) représente la résistance supplémentaire des occultations.

La résistance des occultations ou des systèmes associés aux vitrages dans le but de constituer une isolation thermique nocturne (volet, stores,...), r_{occ} est donnée par la formule : [1]

$$r_{occ} = 0.16 + \frac{e_{occ}}{\lambda_{occ}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}] \quad (1.11)$$

Où :

- e_{occ} en (m) représente l'épaisseur de l'occultation.
- λ_{occ} en (W/m. °C) la conductivité thermique du matériau constituant l'occultation.

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (en mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Vitrage Simple	-	Bois	5,0	5,5
		Métal	5,8	6,5
Vitrage Double	5 à 7	Bois	3,3	3,5
		Métal	4,0	4,3
	8 à 9	Bois	3,1	3,3
		Métal	3,9	4,2
	10 à 11	Bois	3,0	3,2
		Métal	3,8	4,1
	12 à 13	Bois	2,9	3,1
		Métal	3,7	4,0
Double Fenêtre	plus de 30	Bois	2,6	2,7
		Métal	3,0	3,2

Tableau 1.4 : Coefficients K_{vn} des vitrages [1]

2-2.8 Coefficient K des portes

Les Coefficients **K** des portes courantes sont donnés dans le tableau suivant :

	Portes donnant sur l'extérieur	Portes donnant sur un local non chauffé
Portes en bois		
- Portes opaques	3,5	2
- Portes avec une proportion de vitrage < 30%	4,0	2,4
- Portes avec une proportion de vitrage comprise entre 30% et 60%	4,5	2,7
Portes en métal		
- Portes opaques	5,8	4,5
- Portes équipées de vitrage simple	5,8	4,5

Tableau 1.5 [1]

2-2.9. Déperditions à travers les ponts thermiques :

Les liaisons à la jonction des parois (entre deux parois extérieures, entre une paroi intérieure et une paroi extérieure) et les liaisons entre les murs et les menuiseries, appelées communément **ponts thermiques** (figure 1.2), constituent des sources supplémentaires de déperditions. En outre ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction (dus à la condensation principalement).

Les déperditions à travers les liaisons, ou pont thermique, D_{li} pour une différence de température de 1°C , sont données par la formule : [1]

$$D_{li} = k_l \times L \quad [\text{W}^{\circ}\text{C}] \quad (1.12)$$

Où :

k_l en $(\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ représente le coefficient de transmission linéique de la liaison.

L en (m) représente la longueur intérieure de la liaison.

Type des liaisons :

On distingue trois types de liaisons :

- Les liaisons entre un mur et une menuiserie extérieure.
- Les liaisons de deux parois extérieures.
- Les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure

Les parois extérieures sont soit imbriquées (harpage), soit liées par une ossature (en béton armé ou métallique), tableau 1.6

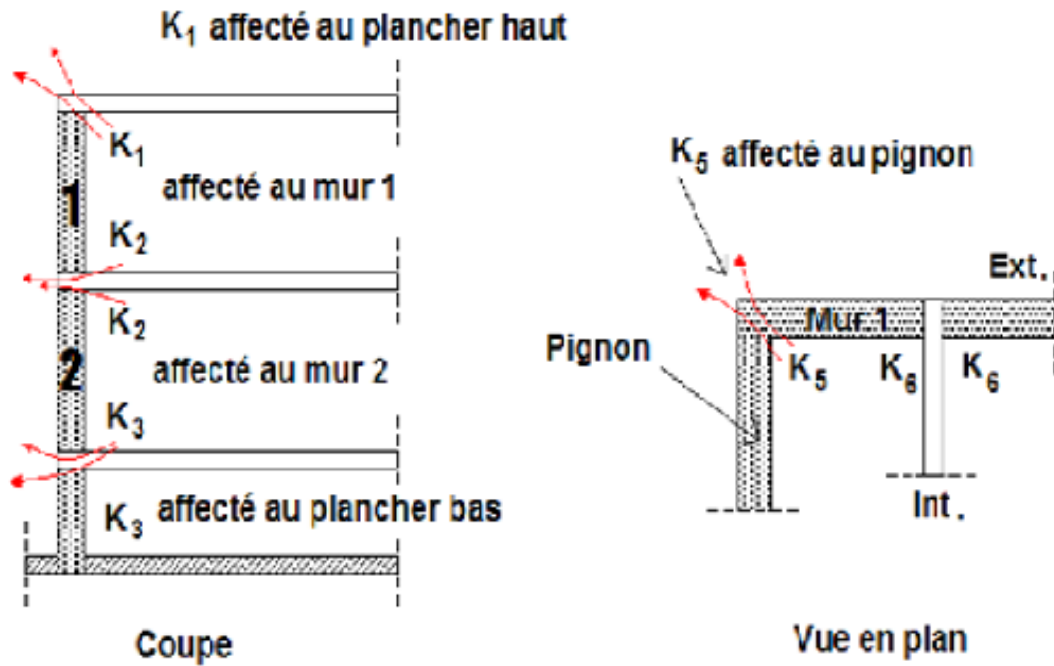


Figure 1.2 : Ponts thermiques [1]

Liaison entre un mur et une menuiserie		
Schéma vue plan		
Valeur de K_1	$\frac{0.9 \times e}{1.25 + R_m}$	
Liaison entre deux parois extérieures		
Schéma vue plan		
Valeur de K_1	$0.2 \times K \times e$	$0.45 \times e$
Liaison entre mur et plancher		
Schéma vue plan		
Valeur de K_1	$\frac{0.4 \times e}{R + 0.15}$	

Tableau 1. 6 : Ponts thermiques [1]

Sachant que :

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} \quad \text{et} \quad e = \frac{e_1 + e_2}{2}$$

- R : désigne la résistance de la paroi fictive
- R_m : désigne la résistance moyenne

2-2.10. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés :

On entend par local non chauffé tout local pour lequel le chauffage n'existe pas ou risque d'être interrompu pendant de longues périodes, ainsi que tout local chauffé par intermittence.

Les déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés sont pondérées par un coefficient τ , sans dimension, dit « coefficient de réduction de température », [1]. La valeur de τ est comprise entre 0 et 1.

Les déperditions thermiques D_{Inc} par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante : [1]

$$D_{\text{Inc}} = \tau [\sum(K \times A) + \sum(K_l \times L)] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (1.13)$$

Où :

- K en (W/m². °C) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie.
- A en (m²) est la surface intérieure de chaque partie surfacique.
- K_l en (W/m². °C) est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison.
- L en (m) est la longueur intérieure de chaque liaison.
- τ est le coefficient de réduction de température, il est soit :
 - Calculé dans le cas général.
 - Déterminé forfaitairement.
 - Fixé par les pièces du marché.

Calcul de τ dans le cas général :

Le coefficient τ est obtenu en considérant le bilan énergétique du local non chauffé.

Le coefficient τ est donné par la formule : [1]

$$\tau = \frac{T_i - T_n}{T_i - T_e} \quad (1.14)$$

Où :

- T_i en (°C) est la température intérieure.
- T_n en (°C) est la température de l'espace non chauffé.
- T_e en (°C) est la température extérieure.

2-2.11. Déperditions par renouvellement d'air :

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation.

Par convention sont considérées, pour l'établissement du bilan thermique, les déperditions par renouvellement d'air moyennes, c'est-à-dire les plus probables. Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

- Des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation ; on associe à ces déperditions le débit spécifique de ventilation.
- Des déperditions supplémentaires par infiltration dues à l'effet de vent.

2-2.11.1. Calcul des déperditions par renouvellement d'air :

Les déperditions par renouvellement d'air D_R d'un logement ont pour expression : [1]

$$D_R = 0.34x(Q_V + Q_S) \quad [W/^\circ C] \quad (1.15)$$

- 0.34 en (Wh/m³. °C) est la chaleur volumique de l'air.
- Q_V en (m³/h) en est le débit spécifique de ventilation.
- Q_S en (m³/h) est le débit spécifique supplémentaire par infiltration dues au vent.
- $0.34xQ_V$ en (W/°C) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées D_{RV} .
- $0.34xQ_S$ en (W/°C) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées D_{RS} .

2-2.11.2. Débit spécifique de ventilation :

Le débit spécifique de ventilation Q_V est calculé par rapport au débit extrait de référence $Q_{V_{réf}}$, qui est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente.

Une ventilation est dite générale (système de ventilation le plus courant) lorsque l'extraction de l'air vicié s'effectue dans les pièces de services (SDB, WC, salle d'eau et cuisine).

L'aération est considérée permanente car l'enveloppe d'un bâtiment n'est jamais parfaitement étanche à l'air.

La détermination de débit spécifique de ventilation s'effectue de la même manière quel que soit le système de ventilation. En effet, ce débit est lié principalement aux exigences d'hygiène.

Le débit spécifique de la ventilation Q_V pour un logement est donné par la relation suivante : [1]

$$Q_V = \text{Max} [0.6 \times V_h ; Q_{vréf}] \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1.16)$$

Où :

- V_h en (m^3) désigne le volume habitable.
- Q_V désigne le débit extrait de référence

On admet qu'en hiver les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de l'ordre de **0.6** fois le volume habitable par heure répondent aux exigences contradictoires de confort thermique, d'hygiène et d'économie d'énergie [1].

Le débit extrait de référence $Q_{vréf}$ est donné par la formule suivante : [1]

$$Q_{vréf} = \frac{5Q_{Vmin} + Q_{Vmax}}{6} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1.17)$$

Où :

- Q_{Vmin} est le débit extrait minimal de référence.
- Q_{Vmax} est le débit extrait maximal de référence.

Le débit extrait de référence est égal à la valeur pondérée par rapport au temps d'un débit extrait maximum de référence établi **4h** par jour, et d'un débit extrait maximal de référence établi le reste du temps [1].

Les valeurs du débit extrait minimal de référence Q_{Vmin} en fonction du nombre du logement, sont données dans le tableau suivant :

Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	> 5
Q_{Vmin} (en m^3/h)	25	50	75	100	110	On ajoute $10 \text{ m}^3/\text{h}$ par pièce supplémentaire

Tableau 1.7 : Débit extrait minimal de référence [1]

Le débit extrait maximum Q_{vmax} est la somme des débits extraits de chaque pièce de service de logement, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Nombre de pièces principales par logement	Q_{vmax} (en m^3/h)			
	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30

Tableau 1.8 : Débit extrait maximum [1]

2-2.11.3. Débit supplémentaire par infiltration due au vent :

Le débit supplémentaire par infiltration dû au vent est donné par la relation suivante : [1]

$$Q_S = \sum(P_{Pi} \times e_{Vi}) \quad [m^3/h] \quad (1.18)$$

Où :

- P_{Pi} est la perméabilité à l'air de la paroi i sous une différence de pression $\Delta P=1$ (Pa).
- e_{Vi} est le coefficient adimensionnel d'exposition au vent affecté à la paroi i .

La perméabilité d'une paroi i P_{Pi} est donnée par la relation suivante : [1]

$$P_{Pi} = \sum(P_{0j} \times A_j) \quad [m^3/h] \quad (1.19)$$

Où :

- P_{0j} en $(m^3/h.m^2)$ sous $\Delta P = 1$ (Pa) est la perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant j c'est-à-dire le débit d'air traversant $1(m^2)$ de paroi sous une pression $\Delta P = 1$ (Pa); les valeurs de P_0 pour les ouvrants courants sont regroupées dans le tableau suivant :

Type de parois	Valeurs de P_0 ($m^3/h.m^2$ sous $\Delta P = 1 Pa$)
Fenêtre ou porte fenêtre	4,0
Porte avec seuil et joint d'étanchéité	1,2
Porte	6,0
Double fenêtre	2,4

Tableau 1.9 : Perméabilité surfacique à l'air [1]

Le coefficient d'exposition au vent e_v est tiré du tableau suivant :

Hauteur H (m)	Classes de rugosité				
	V	IV	III	II	I
$H \leq 4$	0,40	1,47	2,71	4,06	6,36
$4 < H \leq 7$	1,10	2,30	3,51	4,82	7,08
$7 < H \leq 11$	1,76	3,00	4,19	5,46	7,67
$11 < H \leq 18$	2,57	3,87	4,97	6,17	8,32
$18 < H \leq 30$	3,50	4,80	5,80	6,93	9,02
$30 < H \leq 50$	4,47	5,78	6,66	7,71	9,72

Tableau 1.10: Coefficient d'exposition au vent [1]

La hauteur H correspond à la moyenne de la distance entre le sol et la mi-hauteur des ouvrants de la paroi considérée.

Les classes de rugosité du site d'implantation du bâtiment sont définies ci-dessous :

- Rugosité de classe **I** : bord de mer.
- Rugosité de classe **II** : rase campagne, aéroport.
- Rugosité de classe **III** : zone rurales avec arbre, haies, zones faiblement urbanisées.
- Rugosité de classe **IV** : zone urbaines ; zones industrielles ; forêts.
- Rugosité de classe **V** : centre des grandes villes.

Le coefficient d'exposition au vent caractérise le rapport entre le débit d'air pour la différence de pression due au vent, et le débit d'air dû aux infiltrations pour une différence de pression de 1 pascal [1].

2-2.12. Déperdition par transmissions à travers les parois en contact avec le sol

Les déperditions D_{sol} pour un plancher, sont données par la formule : [1]

$$D_{sol} = k_s x p \quad [W/°C] \quad (1.20)$$

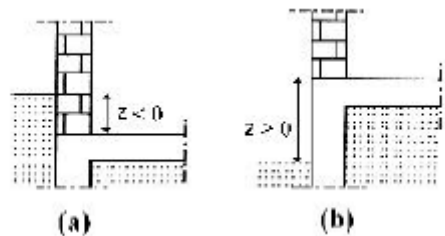
Où :

- P en [m] est le périmètre intérieur
- k_s en [W/m. °C] est le coefficient de transmission linéique dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

z (en m)	inférieur à - 6,00	de -6,00 à - 4,05	de -4,00 à - 2,55	de -2,50 à - 1,85	de -1,80 à - 1,25	de -1,20 à - 0,75
k (en W/m.°C)	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
z (en m)	de - 0,70 à - 0,45	de - 0,40 à - 0,25	de - 0,20 à 0,20	de 0,25 à 0,40	de 0,45 à 1,00	de 1,05 à 1,50
k_s (en W/m.°C)	1,20	1,40	1,75	2,10	2,35	2,55

Tableau 1.11

* Les valeurs des coefficients k_s sont données en fonction de la différence niveau, notée z (figure 1.3)



(figure 1.3)

* La formule (1.20) tient compte des déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec le sol, ainsi que les déperditions à travers les ponts thermiques.

Chapitre 2

DIFFÉRENTES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE

1- Le chauffage :

La façon la plus simple de chauffer une pièce et d'employer un poêle, L'appareil est placé dans la pièce à chauffer ; il transmet la chaleur libérée par transformation de l'énergie. [3]

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue le chauffage à des fins de confort thermique (chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, etc.) et le chauffage à des fins industrielles (chauffage de pièces mécaniques, de processus industriels, etc.).

Le confort thermique est assuré principalement par le chauffage des locaux et volumes de vie ainsi que par le chauffage de l'eau chaude sanitaire, voir le chauffage des eaux de piscines.

Le chauffage à des fins de confort est utilisé pour maintenir ou améliorer les conditions d'une ambiance agréable pour les êtres vivants, dans les espaces clos constituant les lieux de vie (bâtiments, habitacles de moyens de transports, piscines, etc.). L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique d'un espace à vivre. Un système de chauffage consomme de l'énergie sous une forme et la restitue sous forme de chaleur.

Par extension, le terme chauffage désigne aussi tous les systèmes destinés à assurer l'augmentation de température d'une pièce à vivre ou d'un processus de fabrication.

1.2 Principes de chauffage

1.2.1 Classement des systèmes de chauffage

Il existe tellement de systèmes de chauffage différents qu'il est uniquement possible de les classer selon différents thèmes, à titre d'exemple:

- mode de production de chaleur: appareils individuels, chauffage central ou chauffage à distance;
- source d'énergie: charbon, bois, gaz, fioul domestique, électricité, soleil ou vent;
- fluide caloporteur: eau, vapeur, huile thermique ou air;
- mode d'émission de chaleur: convection, rayonnement ou convection et rayonnement.

Chaque système possède ses caractéristiques que l'on peut qualifier d'avantageuses ou de désavantageuses par rapport au bâtiment et à ses habitants [4].

1.2.2 Chauffage individuel

On entend, par chauffage individuel, le chauffage d'une pièce par un ou plusieurs appareils de chauffage qui y sont installés.

Ces appareils de chauffage transformeront sur place l'énergie en chaleur pour chauffer la pièce, tels que :

- le chauffage électrique, direct ou à accumulation,
- les convecteurs à gaz,
- les poêles et feux ouverts,
- les aérothermes au gaz.

1.2.3 Chauffage central

A l'opposé du chauffage individuel, où la source de chaleur se trouve toujours dans le local à chauffer, l'emplacement de l'appareil de chauffe d'une installation de chauffage central est libre. La production de chaleur s'effectue dans une chaudière ou dans un générateur d'air chaud. La chaleur qui y est produite est transmise au fluide caloporteur (eau, air, vapeur, huile thermique) qui amène la chaleur dans les locaux à chauffer via des gaines ou des conduites. En cas de chauffage à eau chaude, la chaleur transportée est émise par des corps de chauffe. En cas de chauffage à air chaud, l'air chaud pénètre dans le local par des bouches de soufflage.

On voit bien, d'après ce qui précède, qu'une installation de chauffage central se compose de quatre éléments nettement distincts :

- la source de chaleur = production,
- le caloporteur + conduites ou gaines = distribution,
- les appareils qui émettent la chaleur = émission,
- les éléments qui régulent la température = régulation.

On distingue différents systèmes, selon la disposition et le groupement des éléments. C'est surtout le mode de construction qui détermine le système à choisir [4].

1.2.4 Avantages et inconvénients

Les avantages du chauffage central par rapport au chauffage individuel sont les suivants:

- un chauffage homogène du local grâce à une disposition favorable des corps de chauffe;
- une pollution atmosphérique proportionnellement moins importante;
- l'absence de manipulation de combustible ou de cendres dans le logement;
- la bonne rentabilité d'utilisation du combustible;
- volume occupé par les corps de chauffe réduit;
- le nombre de cheminées d'un bâtiment est réduit à une seule évacuation des gaz de combustion;
- il faut moins d'entretien;
- il est possible de produire également de l'eau chaude sanitaire.

Ses inconvénients sont :

- des frais d'installation plus élevés;
- si la chaudière tombe en panne, il n'y a plus du tout de chauffage;
- outre les coûts en carburant, il y a aussi des coûts de courant électrique pour les circulateurs et les organes de régulation;
- Les pertes d'énergie dans le réseau de distribution;
- le risque de gel de l'eau dans les radiateurs [4].

2- Les différents modes de chauffage

2-1. Le chauffage électrique

■ Le chauffage électrique : système de production de chaleur à partir de l'énergie électrique. Le fonctionnement repose sur la constatation suivante : toute pièce métallique traversée par un courant électrique s'échauffe et donc dégage de la chaleur. Ce phénomène par lequel l'énergie électrique se transforme en énergie calorifique est connu sous le nom « d'effet Joule ».

Il existe de très nombreuses techniques de chauffage électrique, on peut retenir 4 grandes catégories : les convecteurs (classiques ou soufflants), les radiants ou radiateurs (dans lesquels on retrouve, les radiants classiques, les radiateurs à fluide caloporteur, à accumulation,

à infrarouge, à infrarouge lointain, ...), les planchers chauffants électriques et les chaudières électriques.

Le principal avantage de ce type de système est un rendement qui avoisine les 100%. (On paye 1kWh d'électricité, on récupère 1kWh de chaleur), figure 2.1.



Figure : 2.1 : Radiateur électrique à fluide caloporteur [5]

2-2. Le chauffage au gaz naturel

■ Le chauffage au gaz naturel: appareil constitué principalement d'un foyer où s'effectue la combustion du gaz naturel et d'un échangeur qui transfère la chaleur produite à l'eau destinée à alimenter les émetteurs de chaleur.

Le principe de fonctionnement est le suivant: une veilleuse ou un dispositif électronique d'allumage enflamme le mélange air-gaz délivré par le brûleur. La chaleur dégagée, dans la chambre de combustion, chauffe l'eau qui circule au-dessus dans l'échangeur. Cette eau chaude alimente, par un réseau de tuyauteries, les différents appareils de chauffage, puis, refroidie, retourne à la chaudière pour être chauffée à nouveau. Une pompe appelée calculateur accélère le déplacement de l'eau dans les tuyauteries. Un récipient métallique,

le vase d'expansion, permet à l'eau de se dilater librement (tout liquide chauffé augmente de volume) sans risque de surpression pour l'installation, figure 2.2

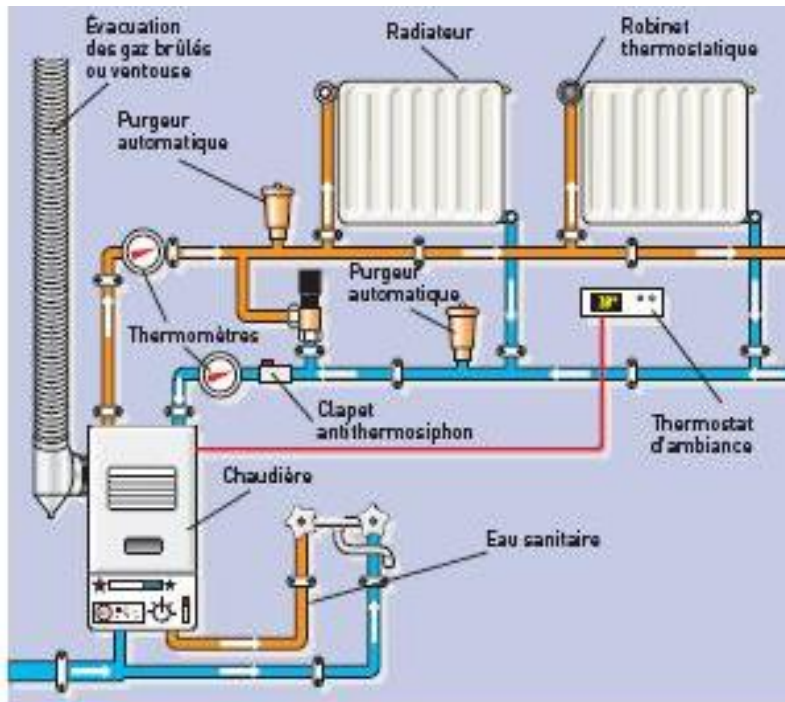


Figure : 2.2 : installation de chauffage central au gaz [6]

Pour le chauffage individuel au gaz La chaleur est produite à un seul endroit, par une chaudière raccordée à un conduit de fumée, figure 2.3



Figure : 2.3 : chauffage individuel au gaz [5]

2.3 Chauffage au fioul :

Le chauffage au fioul est un mode de chauffage utilisant l'énergie fioul. A partir d'une citerne fioul, le combustible fioul alimente un générateur dit chaudière fioul qui lui-même transmet sa chaleur à un circuit de chauffage alimentant des radiateurs ou tout autre émetteur. Le chauffage pour les habitations fournit un régime de chauffage généralement inférieur à 90°/70°C (fig. 2.4).

Le chauffage au fuel est apprécié pour chauffer les maisons individuelles non raccordées au réseau de gaz naturel.

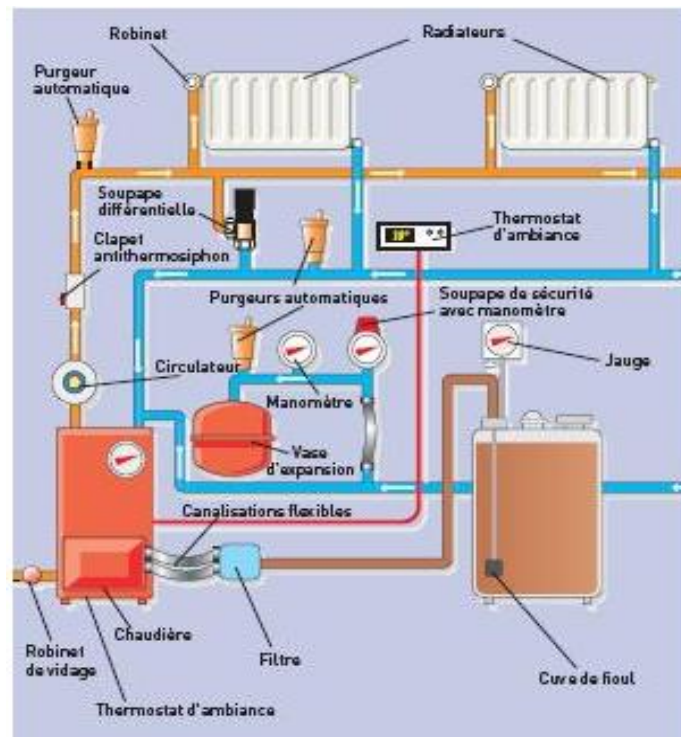


Figure : 2.4 : installation de chauffage central au mazout [6]

Pour le chauffage individuel au fuel La chaleur est produite à un seul endroit, par une chaudière raccordée à un conduit de fumée.



Figure : 2.5 : chauffage individuel au fuel [5]

2.4 La pompe à chaleur (PAC):

2.4.1 Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur :

Parmi les dispositifs thermodynamiques mieux adaptés que les appareillages à combustion à fournir de la chaleur à température relativement basse figure en bonne place la pompe à chaleur. Celle-ci n'est, en somme, qu'une machine frigorifique, donc un système qui absorbe de la chaleur à une source froide pour en céder à une source chaude. Une pompe à chaleur est une machine thermodynamique destinée à assurer le chauffage d'un local à partir d'une source de chaleur externe dont la température est inférieure à celle du local à chauffer.

Donc le rôle d'une pompe à chaleur est de transférer une quantité de chaleur d'un niveau bas de température à un niveau supérieur de température.

Ce qui distingue la pompe à chaleur de la machine frigorifique n'est pas le principe de fonctionnement qui est le même mais le but recherché. L'effet utile est pour cet appareil non pas le froid produit mais la chaleur cédée à la source chaude.

L'écoulement naturel de la chaleur s'effectue toujours d'un corps chaud vers un corps froid.

On peut définir une pompe à chaleur comme une machine permettant de réaliser l'écoulement de chaleur inverse du sens naturel, c'est-à-dire d'un milieu froid vers un milieu chaud. Pour réaliser ce transfert inverse une dépense d'énergie sera inévitablement nécessaire que l'on retrouve d'ailleurs, sous forme de chaleur, à la source chaude.

En résumé on peut conclure :

- La pompe à chaleur est un appareil de chauffage.
- Une pompe à chaleur est un appareil qui transfère des calories d'un bas niveau de température à une température supérieure ou cette chaleur est exploitée (utilisée).
- Pour assurer ce transfert une énergie est nécessaire qui doit être évidemment inférieure à l'énergie calorifique utile pour que le système ait de l'intérêt. [7]

2.4.2 Les phénomènes de transfert thermique

Pour extraire de la chaleur d'un milieu « froid » (la source froide) vers un milieu chaud (le local à chauffer) on utilise comme vecteur un fluide frigorigène. Celui-ci est le siège de phénomènes physico-chimiques permettant de prélever, de transférer et de restituer la chaleur.

Ainsi donc, pour extraire de la chaleur d'une source froide on fera subir au fluide frigorigène, en « contact » avec cette source, un phénomène endothermique (qui absorbe de la chaleur). De la même manière que pour extraire la chaleur stockée par le fluide frigorigène afin de la restituer à la source chaude on utilisera un phénomène exothermique (qui dégage de la chaleur). On fait ainsi décrire une série de transformations qui ramène, périodiquement, le frigorigène dans son état initial. Le cycle de fonctionnement ainsi décrit est appelé cycle frigorifique.

La grande majorité des pompes à chaleur utilise le phénomène de vaporisation d'un liquide pour extraire des calories d'une source froide (milieu extérieur). La restitution de calories au milieu à chauffer s'opère alors en utilisant le phénomène de condensation d'une vapeur.

Le changement d'état liquide – vapeur est le phénomène majeur sur lequel on s'appuie pour produire de la chaleur. On le met en œuvre dans une machine thermique en faisant évoluer un fluide frigorigène dans un circuit fermé comportant notamment un évaporateur et un condenseur :

- L'évaporateur sera placé dans la source froide (le milieu extérieur) où l'on maintient une température T_i . Le frigorigène y pénètre en phase liquide et s'y vaporise (à la température $T_f < T_i$) en prélevant de la chaleur à ce milieu : c'est la phase d'extraction de calories.
- Le condenseur sera refroidi à la température T_r par un fluide extérieur (air ou eau).

Le frigorigène qui y entre en phase vapeur, se condense à une température $T_c > T_r$ en cédant de la chaleur au fluide de refroidissement [8].

L'énergie mécanique (W) fournie à ce système permet l'évolution cyclique du frigorigène.

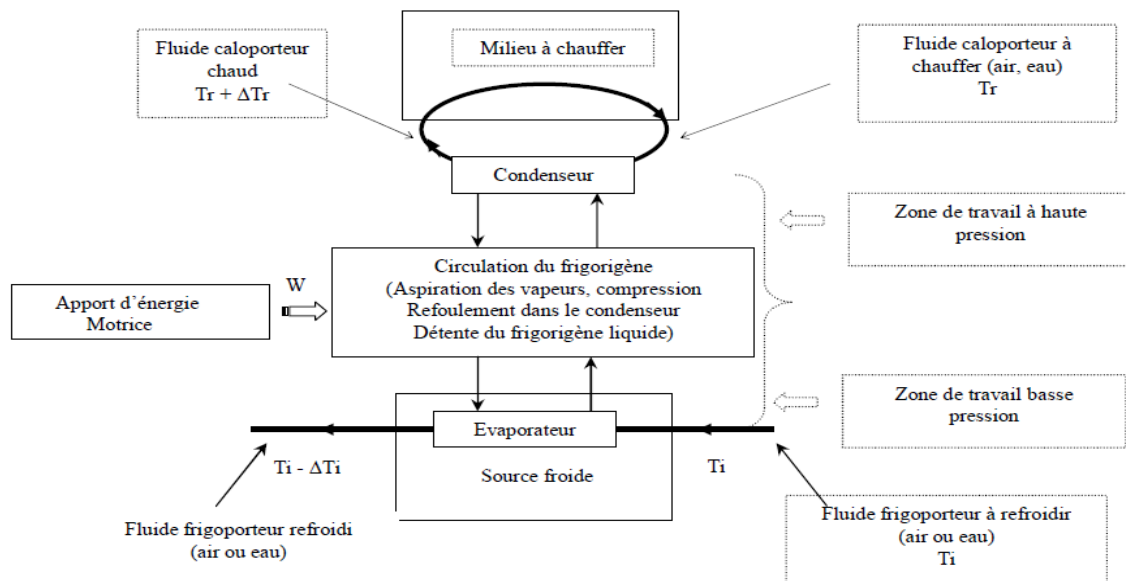


Figure 2.6 : Transfert thermique dans un cycle frigorifique [8].

2.4.3 Cycles de fonctionnement d'une PAC

D'une façon générale, on appelle « cycle » une suite (une série) de transformations thermodynamiques que doit subir le fluide frigorigène qui le ramène, périodiquement dans son état initial.

Dans la PAC le transfert de chaleur est effectué à l'aide d'un fluide frigorigène qui décrit un cycle fermé inversé : la chaleur est prélevée par évaporation du frigorigène, les vapeurs dégagées étant ensuite comprimées, puis refroidies et condensées avant d'être réadmis dans l'évaporateur, par l'intermédiaire d'un détendeur.

Certaines pompes à chaleur utilisent d'autres cycles frigorifiques parmi lesquels on trouve les cycles à absorption [9].

2.4.3.1 Le système à compression :

Les pompes à chaleur à compression sont des machines thermodynamiques utilisées pour produire de la chaleur (air chaud ou eau chaude), ou encore du froid et de la chaleur de manière alternée (groupes réversibles) ou simultanée.

Les principaux éléments d'une telle pompe sont : le compresseur, le condenseur, le détendeur et l'évaporateur.

2.4.3.2 Le cycle idéal d'une pompe à chaleur :

Une pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur comprend essentiellement les machines et dispositifs suivants : [8]

- Un évaporateur : Le rôle de l'évaporateur est de prélever de la chaleur à la source froide dont on dispose. Ce prélèvement de chaleur à basse température s'effectue sur le milieu extérieur (air, eau, etc...). L'évaporateur va donc assurer l'échange thermique du fluide extérieur vers le fluide frigorigène. Le prélèvement de chaleur à basse température a pour effet de faire entrer en ébullition le fluide frigorigène liquide admis dans l'évaporateur.

Deux types d'évaporateurs :

- Les évaporateurs à **air** : la source froide est l'air (PAC **air** / air, **air** / eau);
- Les évaporateurs à **eau** : la source froide est l'eau (PAC **eau** / air, **eau** / eau);

L'évaporation s'effectue à la température de vaporisation T_{ev} correspondant à la pression d'évaporation P_{ev} du fluide frigorigène.

- Un compresseur mécanique et son moteur : le compresseur aspire, sous la pression P_{ev} la vapeur de frigorigène issue de l'évaporateur et la comprime jusqu'à la pression P_c pour la refouler dans le condenseur. La pression P_c sera telle que la température de saturation correspondant à cette pression soit supérieure à la température du fluide de refroidissement dont on dispose. Le compresseur est considéré comme le cœur de l'installation car c'est quasiment le seul organe mécanique.

- Un condenseur : c'est un échangeur de chaleur à surface avec circulation d'un côté du fluide frigorigène à condenser et de l'autre côté de fluide de refroidissement (air, eau, etc...) appelé aussi fluide caloporteur. Il condense le frigorigène en cédant la chaleur au caloporteur qui s'échauffe de T_{c1} à T_{c2} . Le fluide frigorigène quittant cet échangeur est saturant. La condensation s'effectue à la température de condensation T_c correspondant à la pression de condensation P_c . On a : $T_c > T_{c2} > T_{c1}$. Le rôle du condenseur est de rendre au fluide frigorigène son état liquide qui libère ainsi

la chaleur pour chauffer le système (local).

Le condenseur va donc assurer l'échange thermique du fluide frigorigène vers le système.

Deux types de condenseurs:

- Les condenseurs à **air** : la source à chauffer est l'air (PAC air / **air**, eau / **air**);
- Les condenseurs à **eau** : la source à chauffer est l'eau (PAC air / **eau**, eau / **eau**);
- Un détendeur : qui alimente en frigorigène l'évaporateur sans excès ni défaut. Le frigorigène y subit la détente de P_c à P_{ev} . Le rôle du détendeur est de détendre le fluide frigorigène liquide, c'est-à-dire de passer de la « haute pression » de condensation à la « basse pression » d'évaporation.

Il modifie les conditions d'équilibre du fluide frigorigène en abaissant la pression du fluide par un dispositif d'étranglement. Le détendeur peut être automatique ou non automatique. Ces divers éléments sont reliés par des tuyauteries équipées des armatures de service et de sécurité usuelles.

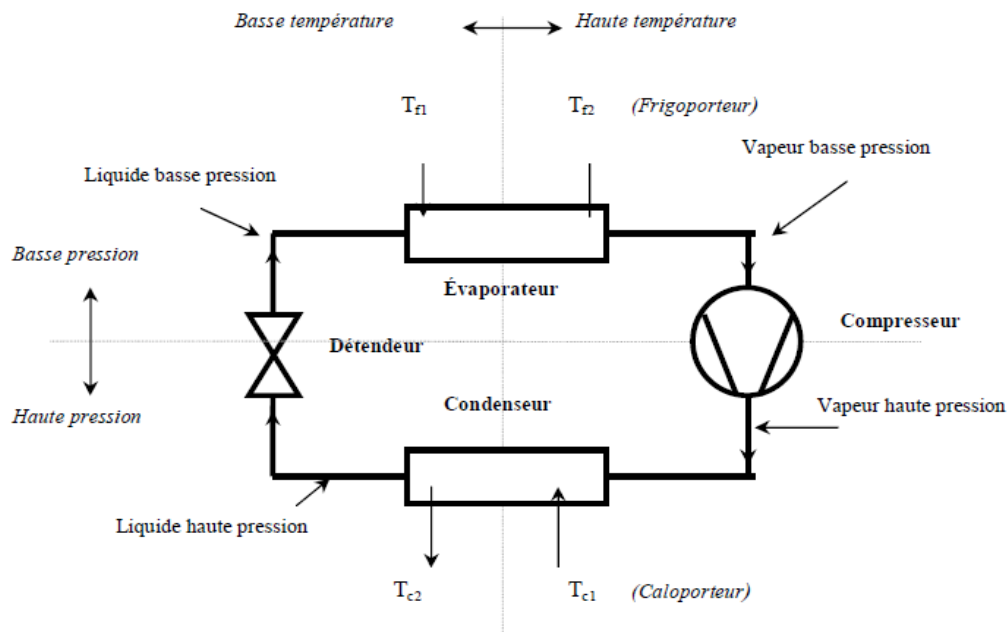


Figure 2.7 : Représentation schématique du cycle frigorifique à compression mécanique [21].

Le cycle fondamental d'une telle machine (à *compression mono-étagée*) peut être décomposé en quatre étapes illustrées dans un diagramme enthalpique ($\text{Log } P = g(h)$).

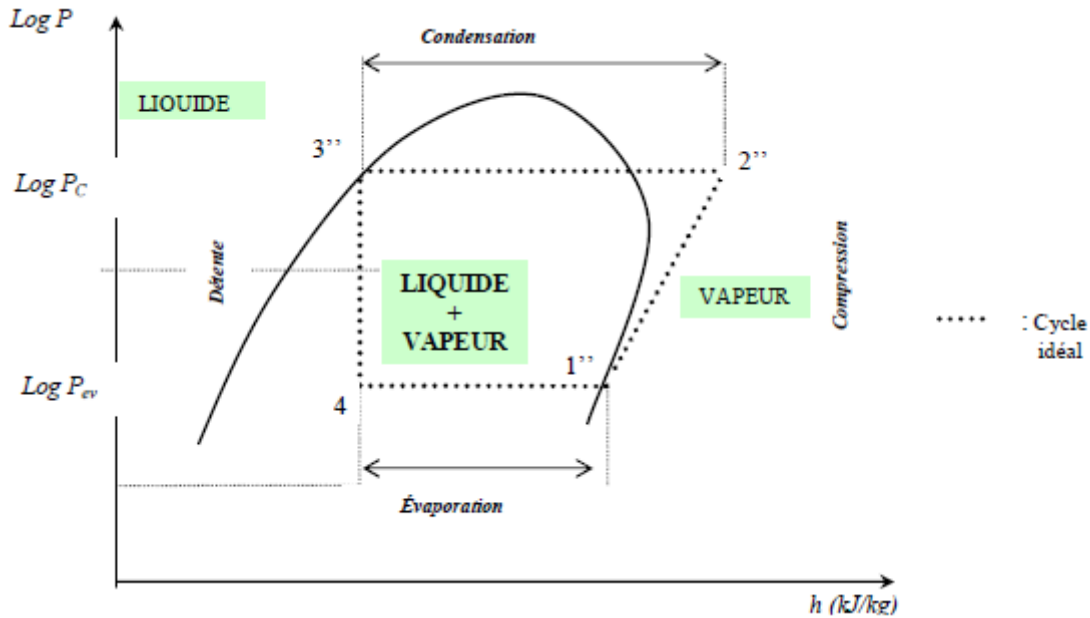


Figure 2.8 : Cycle frigorifique idéal. [10]

2.4.4 Coefficient de performance (COP)

Le **coefficient de performance**, ou COP (parfois CP), d'une pompe à chaleur est le quotient de la chaleur produite par le travail fourni : [15]

$$\text{COP} = \frac{|Q|}{W} \quad (2.1)$$

Où :

Q : la chaleur utile à l'échangeur en [W]

W : le travail mécanique absorbé par le compresseur

(nota: COP est sans unité)

Selon cette définition, on voit que le COP est une efficacité énergétique, dans laquelle le système étudié se situe à la sortie du moteur du compresseur (source chaude) : seule l'efficacité du circuit frigorifique est prise en compte.

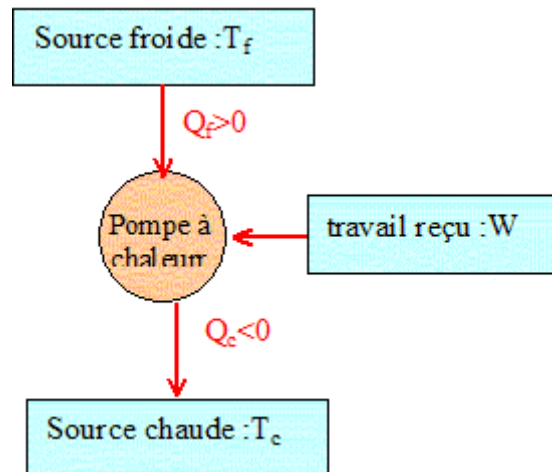


Figure 2.9 : Schématisation du transfert de chaleur. [21]

D'après la première loi de la thermodynamique, dans un système réversible, on peut montrer que : [21]

$$Q_{\text{chaud}} = Q_{\text{froid}} + W \quad [\text{w}] \quad (2.2)$$

$$\text{et} \quad W = Q_{\text{chaud}} - Q_{\text{froid}} \quad [\text{w}] \quad (2.3)$$

Où :

Q_{chaud} est la chaleur reçue par le réservoir froid.

Q_{froid} la chaleur fournie par le réservoir chaud.

$$\text{COP}_{\text{chauffage}} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{Q_{\text{chaud}} - Q_{\text{froid}}} \quad (2.4)$$

Pour une pompe à chaleur fonctionnant avec une efficacité théorique maximum (appelé parfois efficacité de Carnot ou COP de Carnot), on peut montrer que : [21]

$$\frac{Q_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}}} = \frac{Q_{\text{froid}}}{T_{\text{froid}}} \quad (2.5)$$

$$\text{et} \quad Q_{\text{froid}} = \frac{Q_{\text{chaud}} \times T_{\text{froid}}}{T_{\text{chaud}}} \quad (2.6)$$

D'où :

$$\text{COP}_{\text{chauffage}} = \frac{T_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}} \quad (2.7)$$

2.5 Systèmes de Chauffage Solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, direct ou diffus. Sur Terre Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière [8].

Les systèmes de chauffage central solaire ont connue ces dernières années un regain d'intérêt et qui est en constant et significatif croissance principalement en EUROPE, CANADA et aux ETAT UNIES, à titre d'exemple voici une revue des tendances actuelles en chauffage solaire [11].

En EUROPE il a été créé un réseau à but non lucratif regroupant les instituts et compagnies de recherche en systèmes de chauffage central solaire (CENTRAL SOLAR HEATING PLANTS CSHP) pour encourager le développements de système de chauffage solaire de grande taille a travers le transfert de connaissance et d'expériences entre les pays participants, ainsi des systèmes de chauffage solaire ont été développés, tester avec succès en Scandinavie et en Allemagne.

Ce réseau européen nous donne un aperçu des systèmes de chauffage solaire conçus et construits en Europe depuis 1997, on peut remarquer :

- La majorité des systèmes alimente en chaleur des bâtiments résidentiels.
- C'est des systèmes combinant avec le solaire et d'autre combustible bois ou fuel.
- Le fluide de chauffage le plus utilisé est l'eau et en boucle solaire eau plus antigel.

- La plupart des systèmes sont conçu avec stockage saisonnier ou journalier.
- Le médium de stockage les plus utilisés sont l'eau puis le sol.
- La totalité des systèmes sont conçu pour alimenter une fraction de la demande en chaleur.
- La plupart des systèmes sont en fonctionnement avec des frais d'exploitation et de maintenance réduit.
- On peut remarquer que tous les systèmes utilisent un autre combustible pour assurer le chauffage de façon à réduire la taille des composants du système solaire.

En résumé, les systèmes de chauffage central solaire sont conçus pour fournir une fraction de l'énergie nécessaire de chauffage (la demande). Pour concevoir un système de chauffage à 100 pour cent solaire c'est-à-dire garantir la demande en chauffage uniquement par le système solaire de très grande capacité de stockage doivent être prévu ce qui implique de grande surfaces de captage avec les structures annexe qui en dépendent.

2.5.1 Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

2.5.2 Énergie solaire thermique

Le solaire thermique consiste à utiliser le rayonnement solaire en le transformant en énergie thermique.

Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires.

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) où indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique).

2.5.3 CAPTEURS SOLAIRES

Définition :

Un capteur solaire est défini comme tout système recevant l'énergie solaire est la transformant en une énergie utile.

2.5.3.1 Les bases de captation

- Corps noirs

C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit et qui a une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, émettrait aussi le maximum de flux par rayonnement.

- Effet de serre

Sur terre, les constituants qui interviennent dans l'effet de serre sont les nuages et quelques gaz minoritaires qui constituent moins de 1% de l'atmosphère (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane,...). Ainsi une modification de l'effet de serre modifie la convection, qui elle-même modifie la couverture nuageuse qui à son tour, influe sur l'effet de serre.

2.5.3.2 Types de capteurs solaires

Il existe non seulement plusieurs manières différentes de fournir de l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident.

Principalement il y a deux types de capteurs solaires [11] :

Les capteurs solaires photovoltaïques qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique

Les capteurs solaires thermiques qui transforment l'énergie lumineuse en énergie thermique
Un capteur solaire thermique est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur.

Un capteur à circulation de liquide est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est un liquide.

Un capteur à air est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est l'air un capteur plan est un capteur sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est sensiblement plane L'ouverture du capteur est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur.

La liste suivante présente quelques-uns des types les plus répandus de capteurs solaires.

- Capteurs plans de types vitrés
- Capteurs plans sans vitrage
- Capteurs à plaque perforée sans vitrage
- Capteurs solaires à passage retour
- Capteurs solaires à concentration
- Capteurs solaires à air
- Capteurs solaires intégrés
- Cuisinières solaires
- Capteurs solaires à circulation de liquide
- Systèmes à réflecteur parabolique
- Systèmes à réflecteur cylindro-parabolique
- Systèmes de centrale à tour
- Capteurs solaires fixes à concentration
- Capteurs sous vide

2.5.3.3 Capteurs plans de types vitrés

Les capteurs plans de types vitrés sont très répandus et ils existent sous forme de capteurs à circulation de liquide et sous forme de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où la température désirée se situe entre 30 et 70 °C, et/ou à des applications qui nécessitent de la chaleur au cours des mois d'hiver. Les capteurs à circulation de liquide sont plus communément utilisés pour le chauffage de l'eau chaude des résidences pour le chauffage des bâtiments, ainsi que celui des piscines intérieures. Les capteurs à air sont utilisés pour le chauffage des bâtiments, de l'air de ventilation et pour le séchage des récoltes.

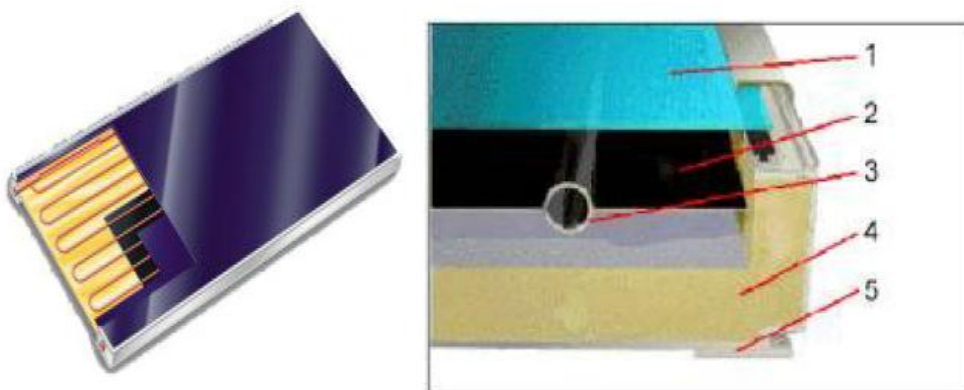


Figure 2.10 : Détail de capteur plan [12].

- 1 : Vitre : verre dont on a retiré des oxydes de fer et qui a subi un traitement anti-reflets.
- 2 : Absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur qui circule au travers des tubes.
- 3 : Serpentin en cuivre (échangeur de chaleur).
- 4 : Isolant.
- 5 : Structure.

❖ Description du capteur plan

Un capteur plan se compose des éléments suivants : le vitrage, l'absorbeur, l'isolant, le fluide caloporteur et le boîtier ou support. [13]

Le vitrage (couvercle) :

Le verre laisse passer 84 à 92% du rayonnement solaire (sous incidence normale) selon le degré de pureté et l'utilité de recouvrir l'absorbeur par une couverture transparente est de retenir les radiations infrarouges émises par l'absorbeur, tout en laissant passer le maximum de rayonnement solaire. Le vitrage peut être simple ou double.

L'absorbeur :

C'est une surface parcourue par un réseau de tubulures, revêtue d'une peinture noire.

L'absorbeur a pour rôle de transformer en chaleur le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit et de transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Cette surface noir doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusivité thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis-à-vis du fluide qui le baigne

L'absorbeur peut être :

En cuivre : qui est le meilleur car c'est un bon conducteur, et travail très bien mécaniquement.

En acier : ayant une faible conductivité thermique que le cuivre et coût moins cher.

En aluminium : nécessite l'emploi de fluide caloporteur spécial pour des problèmes de corrosion.

Afin de réduire les pertes du capteur et accroître son efficacité, il est préférable de recouvrir la surface de l'absorbeur d'un revêtement sélectif qui a un facteur d'absorption le plus élevé et un facteur d'émission le plus faible.

L'isolant :

L'isolation joue un rôle très important dans les applications thermiques de l'énergie solaire non seulement au niveau des absorbeurs, dont il faut limiter les pertes, mais aussi pour calorifuger les tuyauteries chargées de véhiculer la chaleur.

Le fluide caloporteur est le moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail.

Les fluides caloporteurs utilisés sont :

L'air : gratuit mais possède une faible capacité calorifique comparativement à celle de l'eau.

L'eau : qui possède les avantages suivants :

- Une grande chaleur massique
- Une faible viscosité

❖ Principes

Un capteur solaire plan est essentiellement constitué d'une surface absorbante exposée au rayonnement solaire, qui échange avec un fluide caloporteur, les calories produites par absorption du rayonnement incident, et émet en s'échauffant un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde (Loi de Stefan-Boltzman).

Si cet absorbeur est en contact direct avec l'air environnant, en plus des pertes par rayonnement, les pertes par convection peuvent être importantes. Il s'établit alors un équilibre thermique entre l'absorbeur et le milieu ambiant. On capte ainsi peu d'énergie.

Pour réduire les pertes par la face arrière du capteur, l'absorbeur est placé à l'intérieur d'un coffre dont les parois internes sont recouvertes d'un isolant thermique (laine de verre ou mousse synthétique, par exemple).

L'isolation thermique de la face avant est réalisée en interposant entre l'absorbeur et l'air, un matériau opaque au rayonnement thermique, mais transparent au rayonnement solaire.

Les verres et certains matériaux synthétiques sont transparents pour le rayonnement solaire, et opaque pour le rayonnement infrarouge lointain. Ils sont donc utilisés en tant que couvertures transparentes des capteurs solaires.

Dans un capteur équipé d'une couverture transparente, le rayonnement thermique émis par l'absorbeur est absorbé par la couverture transparente qui s'échauffe et rayonne à son tour par les deux faces. Une certaine quantité du rayonnement se disperse dans le milieu extérieur et l'autre est réémise vers l'absorbeur qui est à l'origine de l'effet de serre.

Les couvertures ont également pour rôle de limiter les pertes par convection, étant donné que les échanges thermiques entre deux plaques séparées par une lame d'air immobile, se font

essentiellement par conduction et qu'il est connu que l'air immobile est un bon isolant thermique.

Cet effet d'isolation croît avec l'épaisseur de la lame d'air séparant les deux surfaces, tant que le phénomène de transfert reste conductif (2 à 3 cm d'épaisseur). Au-delà, les effets de la convection naturelle viennent contrarier l'effet recherché.

Une autre méthode pour réduire les pertes du capteur est la réalisation, sur la surface de l'absorbeur, d'un revêtement sélectif, présentant un coefficient d'absorption le plus élevé possible pour les longueurs d'onde du spectre solaire (inférieures à 2,5 μm) tout en ayant une émissivité la plus faible possible dans le domaine de l'infrarouge correspondant au rayonnement de l'absorbeur (longueurs d'onde supérieures à 2,5 μm).

De tels revêtements sélectifs sont réalisés par dépôt chimique ou par traitement électrochimique de la surface absorbante.

En général, ces capteurs sont vendus en bloc de 1 m^2 ou 2 m^2 , et on assemble plusieurs de ces capteurs pour obtenir les surfaces nécessaires.

❖ **Avantages**

- Prix économique
- Fiabilité
- Longue durée de vie
- Efficacité énergétique
- Intégration aux toitures

❖ **Inconvénients**

- Ne convient pas pour les hautes températures
- La température interne peut monter très haut lorsqu'il n'y a pas de circulation de liquide

2.5. 4 Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires

On peut les classer en deux catégories : paramètres externes et paramètres internes :

❖ Les paramètres externes sont :

- Paramètre d'ensoleillement : éclairage énergétique dû au rayonnement global, position du soleil, durée d'insolation.
- Température extérieure sèche.
- Vitesse du vent sur le capteur.

❖ Les paramètres internes sont :

- Paramètres géométriques :

- Paramètre de position : inclinaison, orientation du capteur.
- La superficie du capteur qui représente un paramètre important.
- Dimension de différentes parties : épaisseur, longueur et largeur.

- Paramètres de fonctionnement :

- La température d'entrée du fluide dans le capteur.
- Le débit du fluide caloporteur.
- La température des différentes parties du capteur.

Ces caractéristiques sont très importantes car elles permettent, en tenant compte du coût, d'effectuer un choix parmi les différents types de capteur, dont entre autres : la température de sortie du fluide et la puissance thermique utile du capteur.

2.5.5 Rudiments d'un système de chauffage solaire

Un système de chauffage solaire se compose d'un système de capteurs, d'un système de stockage, d'un système de circulation et de distribution de cette chaleur, et de régulateurs.

L'élément clé du système est le capteur solaire, dont les fonctions sont d'absorber le maximum de rayonnement solaire et de transférer cette énergie au fluide caloporteur en émettant le minimum de pertes (de reflets, de conduction et de rayonnement). À présent, la forme de fluides caloporteurs les mieux connues dans les applications de systèmes de chauffage solaire sont l'eau et l'air également un mélange d'eau et d'antigel est d'usage commun. [14]

Dans le cas d'un moyen de transport d'énergie liquide, l'accumulateur peut être un réservoir de stockage. Dans le cas d'un moyen de transport d'énergie à air, le médium de stockage est un contenant clos qui renferme un lit de pierres ou d'un autre matériau convenable.

Tous les systèmes de chauffage solaire, à part les plus simples, sont munis d'un système de circulation qui permet un transfert constant de fluide caloporteur du système de capteur au système de stockage. Sauf dans les cas où cette circulation se fait par convection naturelle, les systèmes emploient une pompe ou un ventilateur pour véhiculer le liquide caloporteur dans la direction voulue.

Un régulateur muni d'un détecteur de température contrôle le fonctionnement marche - arrêt de la pompe ou du ventilateur, selon les besoins, afin de maintenir un niveau de température optimal à l'intérieur du système.

On distingue deux types de systèmes de chauffage solaire : les systèmes passifs et les systèmes actifs.

2.5.6 Systèmes de chauffage solaire passifs

Les systèmes de chauffage solaire passifs captent et emmagasinent l'énergie surtout au moyen de procédés de flux de chaleur naturel. De tels systèmes ne font appel à aucun régulateur, pompe, ventilateur, détecteur ou autre pièce mécanique. La simplicité des systèmes de chauffage solaire passifs les rend très fiables et permet une installation à prix modéré.

Pour réchauffer l'intérieur d'un édifice, les systèmes de chauffage solaire passifs des locaux captent, stockent et distribuent la chaleur par le biais des éléments de construction de l'édifice tels que les fenêtres et les murs. Dans ce type de système, les fenêtres exposées au Sud laissent pénétrer le rayonnement solaire dans l'édifice, ce qui a pour effet de réchauffer les surfaces intérieures. L'utilisation des surfaces foncées et texturées sert à augmenter le rythme de l'absorption thermique.

Afin d'augmenter la quantité d'énergie pouvant être stockée, l'on se sert souvent, dans la construction de murs capteurs - accumulateurs, de grands réservoirs d'eau ou de matériaux tels que la maçonnerie et le béton, qui présentent une bonne capacité thermique.

Les problèmes de surchauffe peuvent être éliminés par l'installation d'une jalousie ou d'un store à isolation thermique qui bloque les rayons solaires non désirés, ou bien par d'autres systèmes de ventilations naturelles.

2.5.7 Systèmes de chauffage solaire actifs

Les systèmes de chauffage solaire qui font circuler l'air chauffé au moyen d'un ventilateur ou des liquides chauffés à l'aide d'une pompe sont appelés systèmes de chauffage solaire actifs.

Un premier exemple de système de chauffage solaire actif des locaux en est un qui fait circuler l'air, à l'aide d'un ventilateur, des capteurs (où elle est chauffée par le soleil) vers un réservoir de stockage (constitué habituellement d'un accumulateur à pierres) jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée.

Un deuxième exemple de ce type de système en est un qui fait circuler l'eau ou une solution d'eau et d'antigel au moyen d'une pompe dans le capteur solaire puis dans les tuyaux qui sont enfouis dans un plancher de béton épais. Ainsi, le plancher joue effectivement le rôle d'un réservoir de stockage thermique : le béton réfléchit l'énergie thermique à la pièce même une fois que le soleil a cessé de briller sur le capteur.

Système de chauffage solaire actif à eau /à air

Les systèmes de chauffage solaire actifs utilisent un certain nombre de composants à haut rendement tels que pompes, ventilateurs, thermostats, vannes automatiques et autres dispositifs, ils requièrent en général un entretien plus important que les systèmes passifs et sont donc plus coûteux à installer que ces derniers. [15]

Le système de chauffage solaire montré dans les Figure (2.11) et Figure (2.12) représente la classe générale à boucle fermée ou ouverte des systèmes d'énergie solaire qui peuvent être utilisés pour une variété d'applications incluant le chauffage des espaces, le conditionnement d'air à absorption, chauffage d'eau et autres processus de chauffage.

L'énergie solaire est collectée et stockée sous forme de chaleur sensible dans un réservoir à liquide qui conserve l'eau chauffée jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée.

Le réservoir de stockage doit être pressurisé ou rempli avec un liquide ayant un haut point d'ébullition de façon que les pertes d'énergie ne puissent survenir à travers les organes de sécurité.

Quand c'est nécessaire le liquide chauffé est pompé du réservoir de stockage à travers un échangeur de chaleur pour alimenter en énergie thermique la charge, système à boucle fermée, ou bien le liquide est extrait du réservoir et remplacé par liquide froid, système à boucle ouverte.

La charge est la demande en énergie au-dessus du minimum utile de température T_{min} . La température minimale dépend du type d'application, pour le chauffage des espaces résidentiels.

La Figure (2.11) montre un système de chauffage solaire d'air utilisant un lit de pierres (calculs) comme médium de stockage.

L'air est chauffé dans des capteurs solaires à air puis il est acheminé ou dirigé soit au bâtiment à chauffer ou bien vers le lit de pierre. L'énergie est stockée sous forme de chaleur sensible en chauffant le lit de pierre par circulation d'air à travers celui-ci.

Pendant la nuit ou durant les jours couverts quand l'énergie solaire est insuffisante pour assurer le chauffage (la charge) l'air est réchauffé par passage à travers le lit de pierre et délivrer au bâtiment.

Une source d'énergie auxiliaire et prévue en remplacement quand l'énergie stockée dans le lit de pierre est épuisée. [15]

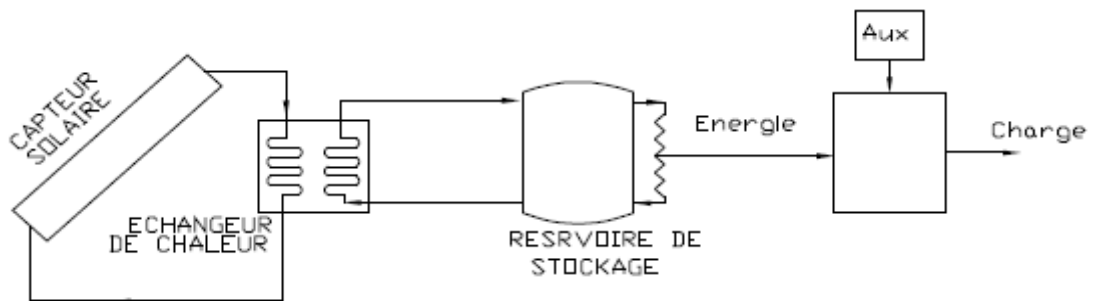


Figure (2.11): Système d'énergie solaire à eau à boucle fermée [15]

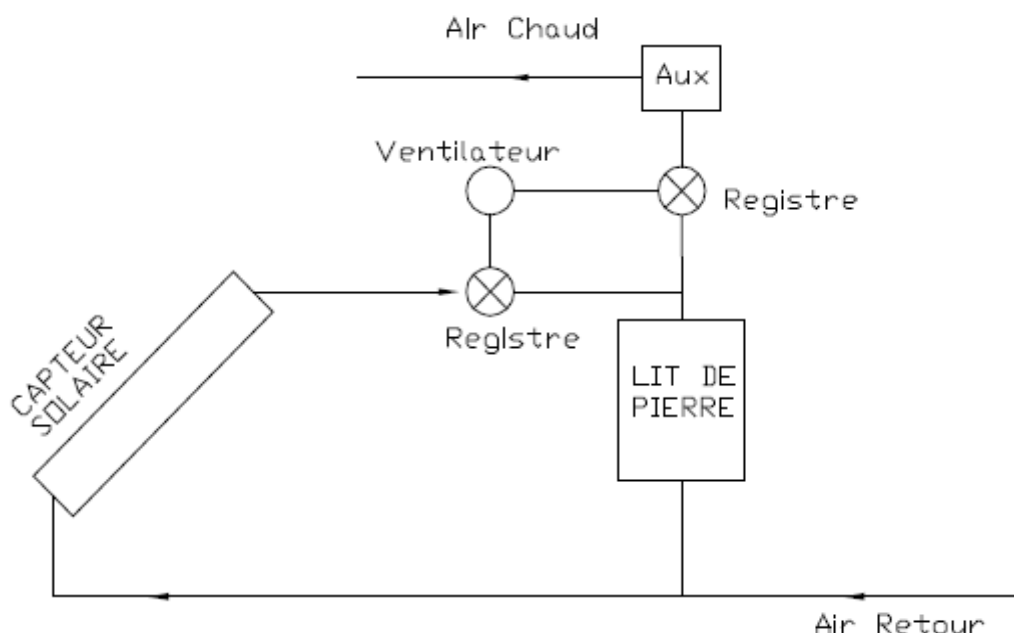


Figure (2.12): Système de chauffage solaire à air avec stockage à lit de pierre [15]

2.5.8 Système de Capteurs solaires

Installation des Capteurs solaires

Les capteurs solaires peuvent être installés au sol, contre le côté d'un édifice ou sur la toiture. Idéalement, ils devraient être orientés vers le Sud, à l'écart des zones ombragées, et devraient présenter un angle d'inclinaison qui permette que la surface du capteur soit exposée au maximum de lumière solaire.

Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en soustrayant la déclinaison du soleil de la latitude géographique de l'emplacement du système de chauffage solaire. En général, il s'agit de la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15 degrés. En hiver, lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison plus élevé (la latitude plus 10 à 15 degrés). Par contre, il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison moins élevé (la latitude moins 10 à 15 degrés) durant les mois d'été lorsque le soleil est plus haut dans le ciel [14].

Protection contre le gel

Les chauffe-eau solaires conçus pour utilisation par temps froid doivent être protégés contre le gel. Dans une première méthode de prévention du gel, l'eau qui se trouve dans le circuit du capteur est évacuée automatiquement dans un réservoir au moment où la pompe s'arrête où que la température de l'eau dans la boucle chute en deçà d'un seuil de température déterminé à l'avance. Ce système s'appelle système à vidange autonome.

Une deuxième méthode de protection, le transfert de la chaleur du capteur au réservoir de stockage est effectué à l'aide d'un antigel non toxique spécial par l'intermédiaire d'un échangeur thermique.

Les systèmes de chauffage solaires saisonniers, c'est-à-dire ceux qui sont destinés à ne servir qu'au printemps, en été et à l'automne, sont habituellement protégés du gel par des soupapes de retenue à bille ou des soupapes manuelles qui permettent l'évacuation et le drainage de l'eau qui se trouve dans le circuit du capteur en temps de gel.

2.5.9 Système de distribution :

Ce système assure la distribution de la chaleur vers le bâtiment (espace à chauffer), le système de distribution du chauffage solaire est identique à celui des systèmes conventionnels [8].

Il s'agit soit d'un système de distribution d'air ou de système à boucle d'eau (chauffage hydraulique).

Pour les systèmes de chauffage solaire utilisant l'air, la fourniture de la chaleur par réseau de gaine est un choix évident.

Pour les systèmes de chauffage solaire à eau, la fourniture de la chaleur peut se faire soit par réseau de gaine par le biais d'échangeur de chaleur eau - air, soit par système à eau corps de chauffe ou bien dalle, plancher ou plafond chauffant.

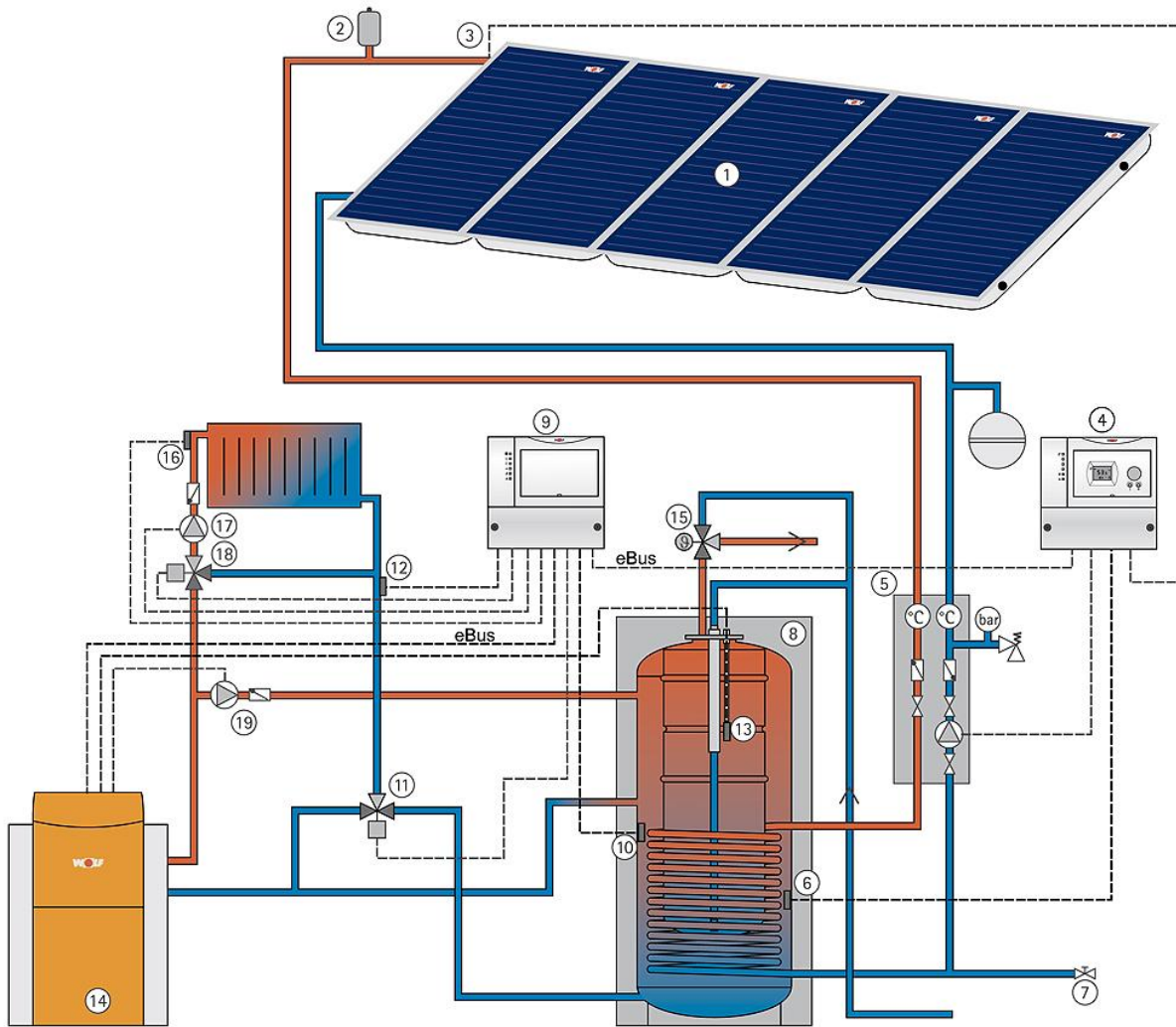
La solution par plancher ou plafond chauffant est la plus adéquate et la plus adaptée aux températures fournies par les capteurs solaires.

2-6 Le système solaire combiné :

le système solaire combiné fournit de l'eau chaude et du chauffage grâce à des capteurs solaires, mais aussi grâce à une source d'énergie secondaire (gaz naturel) qui prend le relais en cas de besoin.

Le fonctionnement de ce système mixte est proche de celui d'un chauffe-eau solaire. Des capteurs solaires permettent de transformer le rayonnement du soleil en chaleur, et de chauffer un fluide caloporteur qui produit l'eau chaude ou le chauffage, le caloporteur transmet sa chaleur au réseau d'eau de chauffage également stockée dans un ballon et toujours par le biais d'un échangeur thermique. Un régulateur associé à ce système solaire donne la priorité à ce type d'énergie, mais entraîne le déclenchement de la source d'énergie secondaire lorsque cela est nécessaire. C'est ensuite l'eau de chauffage qui circule dans les radiateurs pour réchauffer l'air ambiant. Là encore, il convient de conserver une chaudière classique pour prendre le relais en cas de besoin.

Dans le cas d'un projet neuf ou d'une réhabilitation lourde, on peut utiliser la dalle du plancher chauffant non seulement comme émetteur de chaleur, mais aussi comme lieu de stockage de la chaleur, et la figure 2.13 représente les principaux organes qui constituent ce système [18].



- | | | | | |
|---|--|---|---------------------------------|------------------------|
| ① | Surface capteur | ⑪ | Vanne 3 voies | |
| ② | Pot de purge | ⑫ | Sonde retour | |
| ③ | Sonde capteur | ⑬ | Sonde ballon de chauffage | |
| ④ | Régulation différentielle de T° (ex. SM1) | ⑭ | Chaudière | |
| ⑤ | Station pompe | ⑮ | Mélangeur thermique d'eau | |
| ⑥ | Sonde régulation solaire | ⑯ | Sonde de départ circuit mélangé | |
| ⑦ | Robinet de vidange et remplissage | ⑰ | Pompe circuit mélangé | |
| ⑧ | Ballon double SED-750/250 | ⑱ | Servomoteur | |
| ⑨ | Module vanne MM | | | |
| ⑩ | Sonde d'augmentation température de retour solaire | | | |
| | | | ⑲ | Pompe de charge ballon |

Figure (2.13) : Le chauffage solaire combiné [18]

3. Calcul la puissance de chauffage

- La puissance de chauffage nécessaire pour un logement est donnée par : [1]

$$Q = (T_{bi} - T_{be}) \times (((1 + \text{Max}(C_r, C_{in})) \times D_T) + ((1 + C_r) \times D_R)) \quad [W] \quad (2.8)$$

Ou :

Q : Puissance de chauffage, (W)

T_{bi} : Température intérieure de confort, (°C)

T_{be} : Température extérieure de base, (°C)

C_r : Ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries.

C_{in} : Coefficient de surpuissance.

D_R : Déperditions renouvellement d'air, (W/°C)

D_T : Déperditions par transmission, (W/°C)

- Le coefficient C_{in} prend les valeurs suivantes :
 - 0.10 en cas de chauffage continu,
 - 0.15 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est « faible » ou « moyenne »,
 - 0.20 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est « forte ».

- Le coefficient C_r prend les valeurs suivantes :
 - 0 pour les installations de type « chauffage individuel »,
 - 0.05 pour les installations de type « chauffage central » des lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées,
 - 0.10 pour les installations de type « chauffage central » des lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées seulement dans la zone non chauffées,
 - 0.20 pour les installations de type « chauffage central » dont le réseau de tuyauteries n'est pas calorifugé.

3.1- Pour un système de chauffage de gaz par radiateur ou par plancher chauffant

Elle est donnée par : [3]

$$Q = \eta \times \dot{V} \times P_{ci} \quad [W] \quad (2.9)$$

Ou :

Q : Puissance de chauffage, (W)

η : le rendement : compris entre 0,70 et 0,85.

\dot{V} : le débit volumique de gaz (m^3/s)

P_{ci} : le pouvoir calorifique inférieur de gaz (Wh/m^3)

3.2- Pour un système de chauffage par pompe à chaleur :

Pour la pompe à chaleur la source froide représente le milieu dans lequel on va puiser l'énergie. Deux fluides sont abondants dans la nature, l'air et l'eau, mais d'autres possibilités sont utilisables. Les critères suivants permettent de définir les qualités de la source utilisée :

- la disponibilité ;
- la température de la source et sa variation pendant la saison de chauffage ;
- l'énergie disponible ;
- le coût d'accès.

❖ **Air extérieur :**

C'est la source la plus abondante et la plus universelle.

L'énergie disponible est théoriquement infinie. Les inconvénients de l'air extérieur sont dus, d'une part, à la variation de température et, d'autre part, à son humidité (givrage).

❖ **Eau :**

L'eau source de chaleur est présente sous de nombreuses formes : lac, rivière, mer, forages, rejets industriels, circuits de refroidissement de machines, etc. Suivant le lieu d'utilisation, l'eau est ou non disponible et à des coûts parfois élevés.

Les éléments à prendre en compte en fonction des précautions avant de décider d'utiliser une telle source sont :

Le débit, la température, la qualité (corrosion et filtrage), afin d'assurer la pérennité des équipements et les conditions de rejet ou de réinjection, et les différents coûts relatifs à ces critères, à partir de celle-ci on a choisie dans cette étude la pompe de chaleur air/air :

Elle est donnée par : [3]

$$Q = Q_P = \dot{m} \times C_p \times (T_R - T_{bi}) \quad [W] \quad (2.10)$$

$$\text{Avec: } \dot{m} = \rho \times v \times S$$

Ou :

Q : Puissance de chauffage, (W)

Q_P : Puissance de chauffage par renouvellement d'air, (W)

\dot{m} : Débit massique, kg/s

C_p : Chaleur spécifique de l'air, (J/kg. °C)

T_R : Température de l'air de la PAC, (°C)

T_{bi} : Température intérieure de confort, (°C)

ρ : Masse volumique de l'air, (kg/m³)

v : Vitesse d'entrée de l'air de la PAC, (m/s)

S : Surface de la grille de ventilation, (m²)

Dans la pratique, des essais réalisés sur des PAC air/air ayant des COP sur leurs fiches commerciales entre 3 et 5,5 ; donnent comme résultats des COP moyens annuels entre 1,5 et 4 à l'usage. Selon ces tests pour 10 000 kWh d'énergie thermique fournie par une PAC air/air en un an, il y aura entre 2 500 kWh d'électricité consommée (COP moyen annuel de 4 des PAC très performantes dans une région pas trop froide) et 6 500 kWh (COP moyen

annuel de 1,5 des PAC passives dans des régions très froides) d'électricité consommée selon la température moyenne annuelle ou est installée la PAC, les performances de la PAC et le dimensionnement de l'installation. La moyenne de l'ensemble des COP moyen annuels est : 2,5 ; ce qui donne une consommation d'électricité en moyenne de 4 000 kWh/an pour 10 000 kWh/an d'énergie calorifique.

On peut classer la ville de Batna dans les régions pas trop froides, et on estime qu'une production de 3kWh de chaleur a nécessité 1kWh d'électricité (coefficient de performance ou COP)

3.3- Pour un système de chauffage électrique :

La transformation d'énergie électrique W_{el} en une énergie calorifique W_{cal} est couramment utilisée dans les pays où il y a manque de sources d'énergies.

Le principal avantage de ce type de système est un rendement qui avoisine les 100%. (On paye 1kWh d'électricité, on récupère 1kWh de chaleur).

3.4- Pour un système de chauffage de fuel

Elle est donnée par : [3]

$$Q = \eta \times \dot{V} \times P_{ci} \quad [W] \quad (2.11)$$

Ou :

Q : Puissance de chauffage, (W)

η : le rendement : compris entre 0,70 et 0,85.

\dot{V} : le débit volumique de fuel (l/s)

P_{ci} : le pouvoir calorifique inférieur de fuel (Wh/l)

3.5- Pour un système de chauffage par l'énergie solaire donnée par:

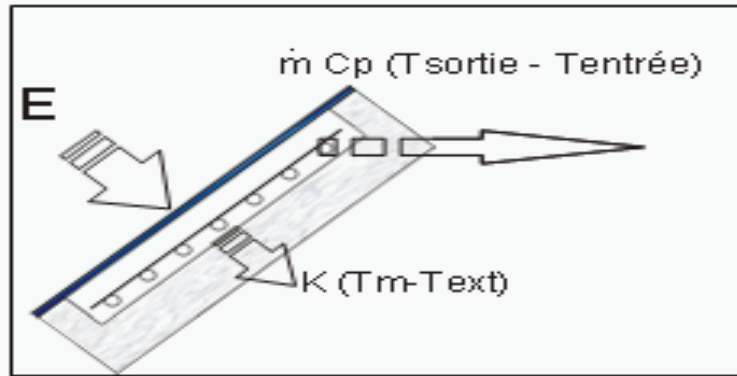


Figure (2.13) : Principe de fonctionnement des capteurs solaires [16].

La puissance utile est celle qui permet de réchauffer le débit de fluide caloporteur \dot{m} de la température d'entrée $T_{\text{entrée}}$ jusqu'à la température de sortie T_{sortie} : [20]

$$\mathbf{Eu} = \dot{m} \mathbf{Cp} (T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}}) \quad [\mathbf{W/m^2}] \quad (2.12)$$

La puissance utile \mathbf{Eu} que l'on peut récupérer d'un capteur solaire dépend de nombreux paramètres, à savoir des paramètres extérieurs :

- E : la puissance solaire incidente sur le plan du capteur ($\mathbf{W/m^2}$).
- T_m : la température moyenne du capteur (approximée à la moyenne entre les températures d'entrée et de sortie de capteur) (en $^{\circ}\mathbf{C}$).
- T_{ext} : la température extérieure (en $^{\circ}\mathbf{C}$).

Et des paramètres définissant le capteur :

β : le facteur optique du capteur, qui est le rapport entre l'ensoleillement absorbé par l'absorbeur et l'ensoleillement incident sur le vitrage. Ce facteur optique est le produit du facteur de transmission du vitrage τ par le coefficient d'absorption de l'absorbeur α .

K : le coefficient de déperditions thermiques ($\mathbf{W/m^2.}^{\circ}\mathbf{C}$)

Le bilan thermique en régime stationnaire du capteur exprime que la puissance absorbée $\tau \alpha E$ se répartit entre la puissance utile E_u et les pertes thermiques : [20]

$$\tau \alpha E = K(T_m - T_{ext}) + \dot{m} C_p(T_{entrée} - T_{sortie}) \quad [W/m^2] \quad (2.13)$$

E_u est donc égale à la partie de la puissance incidente traversant le vitrage et absorbée par l'absorbeur, diminuée des déperditions thermiques (proportionnelles à l'écart de température entre le capteur et l'ambiance) : [20]

$$E_u = \beta E - K(T_m - T_{ext}) \quad [W/m^2] \quad (2.14)$$

Le rendement du capteur η , défini comme étant le rapport entre la puissance utile E_u et la puissance incidente E , s'obtient donc avec l'expression suivante : [20]

$$\eta = \tau \alpha - K \frac{T_m - T_{ext}}{E} \quad (2.15)$$

L'efficacité d'un capteur dépend donc de ses caractéristiques thermiques (diminution des pertes) et optiques (augmentation des apports solaires utiles).

Et le rendement du panneau solaire thermique : variable selon le type de capteurs solaires contenus dans les panneaux thermiques, le rendement est variable. Le rendement de la plupart des capteurs solaires thermiques est d'environ 35%. [16]

Et suite le tableau (2.1) qui concerne la ville de Batna on constate que l'énergie reçue quotidiennement sur une surface de $1m^2$ est de l'ordre de 7 kWh dans la période hivernale c'est-à-dire $1m^2$ de panneau solaire fournit environ de 3 kWh par jour insuffisante pour l'utilisation de chauffage d'un domicile quelconque.

Ils peuvent être utilisés en combinaison avec toute autre méthode de production de chaleur utilisée dans (chauffage, pompe à chaleur, chaudière à mazout ou à gaz).

***** * 10 - BATNA * *****		Energie (en Wh/m2) incidente sur le PLAN par tranche horaire											=====	ASA/m.c.*epau ----- p:(+000,+054)
		SUD / INCLIN.=LATIT. (jem)											=====	
TRANCHES HOR.		6- 7	7- 8	8- 9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	TOTAL JOURNEE
JANV	Dir S	0	102	249	362	441	481	481	441	362	249	102	0	3270
	- Glo G	0	147	357	521	639	700	700	639	521	357	147	0	4728
	- G /vitr	0	106	289	440	546	599	599	546	440	289	106	0	3960
	- Glo G *	0	239	559	800	969	1056	1056	969	800	559	239	0	7246
FEVR	Dir S	20	135	261	366	440	479	479	440	366	261	135	20	3402
	- Glo G	31	207	398	559	675	735	735	675	559	398	207	31	5210
	- G /vitr	16	149	326	473	576	629	629	576	473	326	149	16	4338
	- Glo G *	56	336	629	869	1040	1128	1128	1040	869	629	336	56	8116
MARS	Dir S	40	157	281	385	460	499	499	460	385	281	157	40	3644
	- Glo G	69	256	446	608	725	787	787	725	608	446	256	69	5782
	- G /vitr	37	187	365	514	619	672	672	619	514	365	187	37	4788
	- Glo G *	104	387	668	904	1074	1162	1162	1074	904	668	387	104	8598
AVRI	Dir S	48	164	283	384	456	494	494	456	384	283	164	48	3658
	- Glo G	100	284	465	621	736	795	795	736	621	465	284	100	6012
	- G /vitr	57	207	380	525	627	679	679	627	525	380	207	57	4958
	- Glo G *	132	401	666	891	1054	1139	1139	1054	891	666	401	132	8572
MAI	Dir S	59	196	333	450	534	578	578	534	450	333	196	59	4300
	- Glo G	122	315	507	672	795	859	859	795	672	507	315	122	6570
	- G /vitr	69	225	411	567	678	734	734	678	567	411	225	69	5392
	- Glo G *	140	391	637	846	999	1079	1079	999	846	637	391	140	8208
JUIN	Dir S	64	210	355	480	570	616	616	570	480	355	210	64	4590
	- Glo G	127	324	518	687	812	878	878	812	687	518	324	127	6734
	- G /vitr	71	228	418	579	693	751	751	693	579	418	228	71	5514
	- Glo G *	141	379	612	812	958	1035	1035	958	812	612	379	141	7910
JUIL	Dir S	70	232	395	536	637	690	690	637	536	395	232	70	5120
	- Glo G	126	335	545	727	863	934	934	863	727	545	335	126	7092
	- G /vitr	68	236	441	615	738	801	801	738	615	441	236	68	5822
	- Glo G *	138	375	610	811	958	1035	1035	958	811	610	375	138	7884
AOUT	Dir S	65	226	393	536	639	693	693	639	536	393	226	65	5104
	- Glo G	114	326	542	730	868	942	942	868	730	542	326	114	7058
	- G /vitr	61	234	442	619	744	809	809	744	619	442	234	61	5828
	- Glo G *	130	377	625	838	992	1074	1074	992	838	625	377	130	8084
SEPT	Dir S	50	195	351	484	581	631	631	581	484	351	195	50	4584
	- Glo G	85	289	500	682	816	887	887	816	682	500	289	85	6520
	- G /vitr	45	209	410	580	699	761	761	699	580	410	209	45	5410
	- Glo G *	107	366	630	855	1018	1103	1103	1018	855	630	366	107	8158
OCTO	Dir S	27	162	313	442	534	582	582	534	442	313	162	27	4120
	- Glo G	42	237	446	625	755	823	823	755	625	446	237	42	5856
	- G /vitr	22	171	366	531	646	706	706	646	531	366	171	22	4884
	- Glo G *	59	327	604	837	1004	1091	1091	1004	837	604	327	59	7844
NOVE	Dir S	8	137	309	450	549	601	601	549	450	309	137	8	4108
	- Glo G	12	188	414	602	736	806	806	736	602	414	188	12	5516
	- G /vitr	6	134	338	510	631	693	693	631	510	338	134	6	4624
	- Glo G *	17	260	553	790	957	1043	1043	957	790	553	260	17	7240
DECE	Dir S	0	91	245	365	449	492	492	449	365	245	91	0	3284
	- Glo G	0	130	342	511	630	692	692	630	511	342	130	0	4610
	- G /vitr	0	93	277	431	539	593	593	539	431	277	93	0	3866
	- Glo G *	0	206	520	760	927	1013	1013	927	760	520	206	0	6852
-----														JOURNEE
A10+S::asa		17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	12-13	SYMETRIE / 12 heures		(Midi TSV)				wh/m2

Tableau (2.1) : Energie incidente sur le plan par tranche horaire. [17]

4- La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage

La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage (Q) dépend de ces deux grandeurs. [3]

Si on désigne par :

q : La consommation totale de chaleur du bâtiment par jour.

$(t_i - t_{em})$: La différence entre la température à l'intérieur et la température extérieure moyenne.

N : le nombre de jours de chauffage.

La consommation de chaleur de N jours de chauffage est : [3]

$$Q = q(t_i - t_{em}) \cdot N \quad [\text{kWh}] \quad (2.16)$$

Chapitre 3

Etude technico-économiques

1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va calculer les déperditions thermiques dans un habitat suivant le DTR. Le plan d'architecture descriptif d'une Maison le plus commun en Algérie de type individuel est donné. La maison située à la ville de Batna est à double murette-simple vitrage.

L'étude technico-économique concerne la comparaison des coûts des différents types d'installations de chauffage de cette maison en période hivernale.

2. Plan du local :

Du plan d'architecture descriptive de la Maison (R+ 1) on obtient les surfaces suivant la figure (3.1) :

- L'aire de la surface habitable : 147.58m²
- L'aire des murs extérieurs : 194.07 m²
- L'aire des parois vitrées : 13.92 m²

Les murs sont en double briques, recouverts par une couche fine du ciment mortier sur la face extérieure et une couche de plâtre sur la face interne.

3- Méthode de calcul :

- 1- Subdiviser le local en volumes thermiques.
- 2- Calculer pour chaque volume les déperditions par transmission (déperditions surfaciques, déperditions à travers les liaisons).
- 3- Calculer les déperditions par renouvellement d'air du local.
- 4- Calcul des déperditions thermiques totales.
- 5- Calcul de la puissance de chauffage.
- 6- Calcul de la consommation mensuelle de chaleur.
- 7- Consommation mensuelle d'énergie.
- 8- Coût mensuel d'énergie.
- 9- Récapitulatif des coûts des différents modes de chauffage

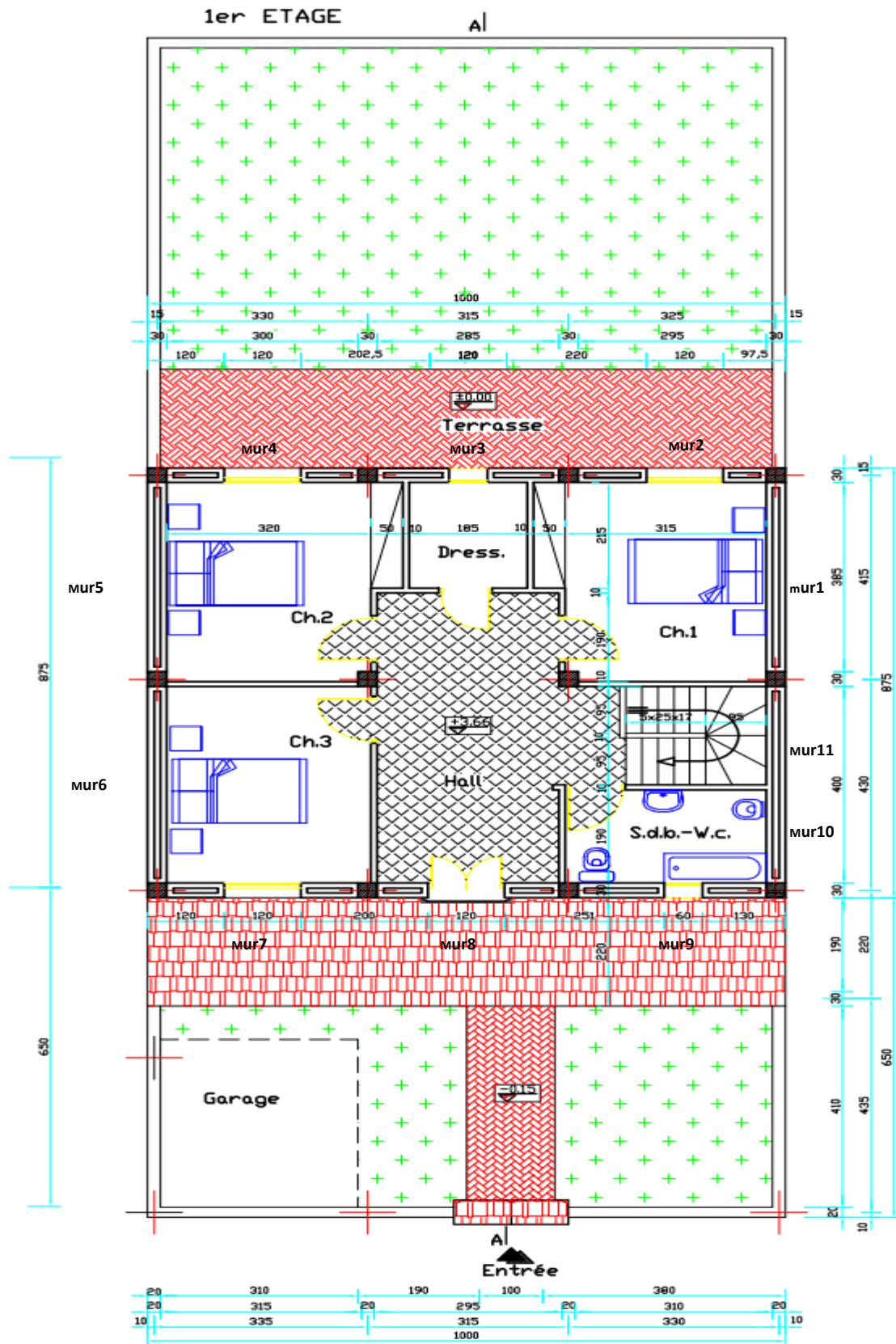


Figure (3.1) : plan du 1^{er} étage de la maison choisie (b)

TABLEAU (3.1) : CALCULS DES DEPERDITIONS POUR RDC

		Déperditions surfaciques				Déperditions linéiques			D _T ⁽⁷⁾ (W/°C)	
		A (m ²)	L (m)	R ⁽¹⁾	K ⁽²⁾ (W/m ² °C)	D _s ⁽³⁾ (W/°C)	K _l ⁽⁴⁾ (W/m°C)	K _{pln} ⁽⁵⁾ (W/m°C)		D _{Li} ⁽⁶⁾ (W/°C)
séjour	Mur 1	11.94	3.85	0.73	1.10	74.56	0.15	0.15	6.64	81.20
	Mur 2	25.54	9.40	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Mur 3	11.94	3.85	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre 1	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
	Porte fen	2.40	6.40	0.22	4.50		0.17	-		
	Fenêtre 3	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
Cuisine	Mur 4	12.40	4.00	0.73	1.10	27.60	0.15	0.06	2.29	29.88
	Mur 5	8.41	3.10	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
Hall	Mur 6	6.95	2.95	0.73	1.10	27.22	0.15	0.06	2.21	29.43
	Mur 9	6.20	2.00	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Porte	2.20	6.40	0.17	5.80		0.18	-		
S,D,B	Mur 7	9.25	3.10	0.73	1.10	17.72	0.15	0.06	1.47	19.19
	Mur 8	5.58	1.80	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	0.36	2.40	0.26	3.92		0.17	-		
Plancher			P(m)		K _s ⁽⁸⁾ (W/m ² °C)	D _{sol} ⁽⁹⁾ (W)				
		-	37.50	-	1.75	65.63	-	-	-	65.63

- Déperditions par transmission D_T = 225.33 (W/°C)

Déperditions par renouvellement d'air							
Q _{vmin} ⁽¹⁰⁾ (m ³ /h)	Q _{vmax} ⁽¹¹⁾ (m ³ /h)	Q _{vréf} ⁽¹²⁾ (m ³ /h)	Q _v ⁽¹³⁾ (m ³ /h)	P _{PI} ⁽¹⁴⁾ (m ³ /h)	e _v ⁽¹⁵⁾ (Wh/m ³ .°C)	Q _s ⁽¹⁶⁾ (m ³ /h)	D _R ⁽¹⁷⁾ (W/°C)
50.00	120.00	61.66	142.50	38.64	1.47	56.80	67.76

- Les déperditions thermiques de R.D.C D⁽¹⁸⁾ = 293.09 (W/°C)

(1): l'équation (1-9) et l'équation (1-10)	(10): l'équation (1-7)
(2): annexe (3) , l'équation (1-10) et tableau (1-5);(1-11)	(11): tableau (1-8)
(3): annexe(4) , l'équation (1-7)	(12): l'équation (1-17)
(4): tableau (1-6)	(13): l'équation (1-16)
(5): tableau (1-6)	(14): l'équation (1-19)
(6): l'équation (1-12)	(15): tableau (1-10)
(7): l'équation (1-3)	(16): l'équation (1-18)
(8): tableau (1-11)	(17): l'équation (1-15)
(9): l'équation (1-20)	(18): l'équation (1-2)

TABLEAU (3.2) : CALCULS DES DEPERDITIONS POUR 1er ETAGE

		Déperditions surfaciques					Déperditions linéiques			D _T (W/°C)
		A (m ²)	L (m)	R	K (W/m ² °C)	D _s (W/°C)	K _l (W/m°C)	K _{pln} (W/m°C)	D _{li} (W/°C)	
Ch.1	Mur 1	11.94	3.85	0.73	1.10	26.57	0.15	0.06	2.22	28.79
	Mur 2	7.95	2.95	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
Ch.2	Mur 4	10.74	3.85	0.73	1.10	29.64	0.15	0.06	2.42	32.06
	Mur 5	11.94	3.85	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
Ch.3	Mur 6	12.40	4.00	0.73	1.10	27.77	0.15	0.06	2.28	30.04
	Mur 7	8.57	3.15	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
Hall	Mur 8	6.75	2.95	0.73	1.10	25.04	0.15	0.06	2.21	27.25
	Mur 11	6.20	2.00	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Porte fen	2.40	6.40	0.22	4.50		0.18	-		
Dresse	Mur 3	4.54	1.85	0.73	1.10	9.69	0.15	0.12	1.25	10.94
	Fenêtre	1.20	4.40	0.26	3.92		0.17	-		
S,D,B	Mur 9	9.25	3.10	0.73	1.10	17.72	0.15	0.06	1.47	19.19
	Mur 10	5.58	1.80	0.73	1.10		0.15	0.06		
	Fenêtre	0.36	2.40	0.26	3.92		0.17	-		
Toiture		73.79	-	0.55	1.36	100.35	-	-	-	100.35

- Déperditions par transmission D_T = 248.63 (W/°C)

Déperditions par renouvellement d'air							
Q _{vmin} (m ³ /h)	Q _{vmax} (m ³ /h)	Q _{vréf} (m ³ /h)	Q _v (m ³ /h)	P _{pi} (m ³ /h)	e _v	Q _s (m ³ /h)	D _R (W/°C)
75.00	160.00	89.16	132.82	30.24	2.30	69.55	68.81

- Les déperditions thermiques du 1er étage D= 317.43 (W/°C)

3-1 Les Déperditions Pour : RDC et le 1^{er} étage :

Déperditions par transmission total	$D_T = 473.95$	(W/°C)
Déperditions par renouvellement d'air total	$D_R = 136.57$	(W/°C)

3-2 Les Déperditions de Référence :

Les déperditions de référence ⁽¹⁹⁾	$D_{réf} = 561.49$	(W/°C)
---	--------------------	--------

On remarque que les déperditions totales sont inférieures aux déperditions de référence. Ainsi, cette construction respect la norme algérienne.

(19): l'équation (1.6)

3-3 Calcul la Puissance de Chauffage :

Puissance de Chauffage Individuel ⁽²⁰⁾ (W)	Puissance de Chauffage Central ⁽²⁰⁾ (W)
17760	19780

(20): l'équation (2-8)

Voir l'annexe 4 et 5

3-4 La Consommation mensuelle de chaleur :

Pour le chauffage Individuel ⁽²¹⁾ (kWh)					
novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
5068.61	7097.63	6999.73	6587.61	4601.22	2889.58

Pour le chauffage central ⁽²¹⁾ (kWh)					
novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
5644.17	7903.59	7794.58	7335.66	5123.71	3217.70

(21): l'équation (2.16)

3-5 La Consommation mensuelle d'énergie :

Pour le chauffage Individuel						
Energie	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
pour le chauffage Gaz naturel ⁽²²⁾ (m ³)	592.13	829.16	817.73	769.58	537.53	337.57
pour le chauffage de Fioul ⁽²³⁾ (L)	629.80	881.91	869.75	818.54	571.72	359.04
pour la Pompe à chaleur (kWh)	1689.54	2365.88	2333.24	2195.87	1533.74	963.19
pour le chauffage électrique (kWh)	5068.61	7097.63	6999.73	6587.61	4601.22	2889.58

Pour le chauffage central						
Combustibles	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
Gaz naturel (m ³)	659.37	923.32	910.58	856.97	598.56	375.90
Fioul domestique (L)	701.31	982.06	968.51	911.49	636.64	399.81

η : le rendement de chauffage : 0.8.

(22): l'équation (2.10)

(23): l'équation (2.11)

3-6 Le coût mensuel d'énergie consommé pour les différents types d'installations de chauffage :

Pour le chauffage Individuel						
énergie	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
pour le chauffage Gaz naturel (DA)	1760.31	2540.15	2502.53	2344.13	1580.67	922.81
pour le chauffage de Fioul (DA)	8628.22	12082.20	11915.55	11214.00	7832.60	4918.89
pour la Pompe à chaleur (DA)	6760.57	9887.00	9450.62	9176.54	6409.50	3725.18
pour le chauffage électrique(DA)	20881.71	29660.99	28951.87	27529.62	19228.50	11775.55

Voir l'annexe 10

Pour le chauffage central						
Combustibles	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
Gaz naturel (DA)	1981.52	2849.92	2808.02	2631.64	1781.49	1048.92
Fioul domestique (DA)	9607.99	13454.18	13268.60	12487.39	8722.02	5477.45

3-7 Le coût mensuel d'énergie consommé pour le système solaire combiné :

Associer l'énergie solaire au gaz naturel

3-7.1 Irradiation globale :

Pour le calcul du rayonnement solaire à Batna on a utilisé une application lancée par Le CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables), où on a constaté que L'orientation sud et l'inclinaison de 30 à 45° environ par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements pour une installation solaire à nos latitudes, Grâce à ce programme, on a obtenu les résultats indiqués dans les tableaux suivants [19] :

P. Astronomique			Irradiation Globale	
Heures TSV	Azimuth du soleil:	Hauteur du soleil:	G_Inclinée:	
4h00	-84.4°	0.0°	0	
5h00	-86.7°	0.0°	0	
6h00	-78.4°	0.0°	0	
7h00	-69.8°	3.5°	126	
8h00	-60.2°	14.6°	435	Inclinaison: 45
9h00	-48.9°	24.5°	700	Orientation: sud
10h00	-35.2°	32.7°	1029	
11h00	-18.6°	38.3°	1029	
12h00	0.0°	40.3°	1073	
13h00	18.6°	38.3°	1029	
14h00	35.2°	32.7°	902	
15h00	48.9°	24.5°	700	
16h00	60.2°	14.6°	435	
17h00	69.8°	3.5°	126	
18h00	78.4°	0.0°	0	
19h00	86.7°	0.0°	0	
20h00	84.4°	0.0°	0	
			7457	
			Wh/m²	

Tableau (3.3) Application de programme CDER

P.Astronomique			Irradiation Globale	
Heures TSV:	Azimuth du soleil:	Hauteur du soleil:	G_Inclinée:	
4h00	-59.9°	0.0°	0	
5h00	-69.5°	0.0°	0	
6h00	-78.1°	8.4°	26	
7h00	-86.4°	20.5°	223	
8h00	-84.7°	32.6°	477	Inclinaison: 45
9h00	-74.2°	44.6°	709	Orientation: sud
10h00	-59.6°	55.9°	893	
11h00	-36.4°	65.0°	1010	
12h00	0.0°	69.0°	1051	
13h00	36.4°	65.0°	1010	
14h00	59.6°	55.9°	893	
15h00	74.2°	44.6°	709	
16h00	84.7°	32.6°	477	
17h00	86.4°	20.5°	223	
18h00	78.1°	8.4°	26	
19h00	69.5°	0.0°	0	
20h00	59.9°	0.0°	0	
			7727	
			Wh/m²	

Tableau (3.4) application de programme CDER

Jour	Irradiation globale /jour en (Wh/m ²)					
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
01	7457	6902	6976	7743	8258	8199
02	7444	6897	6988	7769	8266	8189
03	7427	6890	7003	7795	8272	8175
04	7410	6886	7015	7821	8277	8163
05	7393	6880	7030	7843	8287	8153
06	7374	6875	7044	7866	8295	8139
07	7353	6871	7059	7894	8295	8126
08	7340	6867	7077	7916	8295	8110
09	7321	6865	7091	7938	8300	8096
10	7304	6862	7107	7961	8300	8080
11	7285	6860	7124	7981	8304	8065
12	7270	6858	7142	8002	8305	8051
13	7251	6858	7158	8024	8309	8034
14	7234	6858	7176	8043	8308	8020
15	7217	6859	7194	8060	8308	8001
16	7198	6859	7212	8079	8305	7985
17	7181	6861	7232	8099	8304	7968
18	7164	6866	7250	8116	8302	7952
19	7147	6868	7250	8133	8297	7935
20	7132	6873	7270	8148	8294	7914
21	7115	6875	7288	8163	8289	7896
22	6978	6882	7306	8174	8285	7879
23	6969	6885	7482	8190	8278	7858
24	6959	6893	7508	8203	8275	7840
25	6952	6902	7560	8216	8260	7821
26	6943	6909	7588	8227	8251	7804
27	6934	6918	7614	8241	8247	7781
28	6925	6927	7642	8247	8236	7765
29	6917	6963	7666		8226	7744
30	6912	6947	7692		8218	7727
31	6902	6965	7720		8208	

Irradiation globale / Mois en (kWh/m ²)					
Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
222.41	213.48	225.46	224.89	256.65	239.47
Irradiation globale de 15.75 m ² / Mois en (kWh)					
Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
3502.93	3362.33	3551.06	3542.05	4042.30	3771.65

Tableau (3.5) : Irradiation globale

3-7.2 Energie récupérée par les capteurs solaires :

Pour le calcul de la chaleur récupérée, on a choisi les capteurs **FKC-2S** (Bosch) parce que ces derniers sont des excellents comportements en stagnation, ces capteurs offrent un grand rendement, sont durables, robustes, sans entretien.

Montages disponibles :

- Sur toiture
- En intégration
- Sur terrasse et en façade

Pour les calculs voir les annexes 5, 7 et 8 où on a choisi une superficie de 15.75 m² (07 panneaux), et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Mois	Flux solaire reçu (kWh)	Température moyenne extérieure (°C)	Pertes thermiques des capteurs (kWh)	Energie récupérée par les capteurs solaire (kWh)
Novembre	3502.93	10.3	1058.09	1639.16
Décembre	3362.33	6.5	1125.44	1463.55
Janvier	3551.06	6.7	1121.90	1612.42
Février	3542.05	6.1	1235.49	1491.89
Mars	4042.30	11.6	1129.15	1983.42
Avril	3771.65	14.9	1154.12	1750.05

Tableau (3.6) : Energie récupérée par les capteurs solaires

Quand on revient au tableau qui représente la consommation mensuelle de l'énergie (le chauffage central en gaz naturel) et le tableau 3.6, on trouvera que les résultats obtenus représentent une économie d'énergie pour le système solaire combiné, voir le tableau suivant :

Mois	Consommation d'énergie (kWh)	Energie récupérée par les panneaux solaire (kWh)	Energie complémentaire par le gaz naturel (kWh)	Taux de la couverture d'énergie solaire
Novembre	5644.17	1639.16	4005.01	29.04 %
Décembre	7903.59	1463.55	6440.04	18.52 %
Janvier	7794.58	1612.42	6182.16	20.69 %
Février	7335.66	1491.89	5843.77	20.34 %
Mars	5123.71	1983.42	3140.29	38.71 %
Avril	3217.70	1750.05	1467.65	54.39 %

Tableau (3.7) : Energie produite par le solaire et le gaz naturel

Nous constatons que la couverture de l'énergie solaire de surface 15.75 m² est acceptable par rapport à l'énergie nécessaire pour le chauffage de l'habitation.

Donc, la consommation mensuelle nécessaire du gaz naturel du système solaire combiné devient :

Mois	Consommation du gaz (m ³)	Gaz récupérée (m ³)	Taux d'énergie récupérée
Novembre	467.87	191.50	29.04 %
Décembre	752.34	170.98	18.52 %
Janvier	722.22	188.36	20.69 %
Février	682.68	172.30	20.15 %
Mars	366.86	231.70	38.71 %
Avril	171.45	204.45	54.39 %

Tableau (3.8) : Consommation mensuelle du gaz

A partir des résultats du tableau 3.8 on peut calculer le coût d'énergie récupérée, voir le tableau suivant :

Mois	Coût d'énergie récupérée (DA)
Novembre	575.48
Décembre	527.74
Janvier	580.87
Février	530.34
Mars	689.62
Avril	570.49

Tableau (3.9) : Coût mensuel d'énergie récupérée

A partir de ce tableau on peut voir que le coût récupéré est raisonnable lors de la comparaison avec le prix du gaz.

Le coût d'énergie mensuel consommé pour le système solaire combiné soit comme suit :

Mois	Coût d'énergie consommé de système solaire combiné (DA)
Novembre	1406.04
Décembre	2322.18
Janvier	2227.15
Février	2101.30
Mars	1091.87
Avril	478.43

Tableau (3.10) : Coût d'énergie mensuel de système solaire combiné

A partir des tableaux précédents, On obtient les graphes suivants :

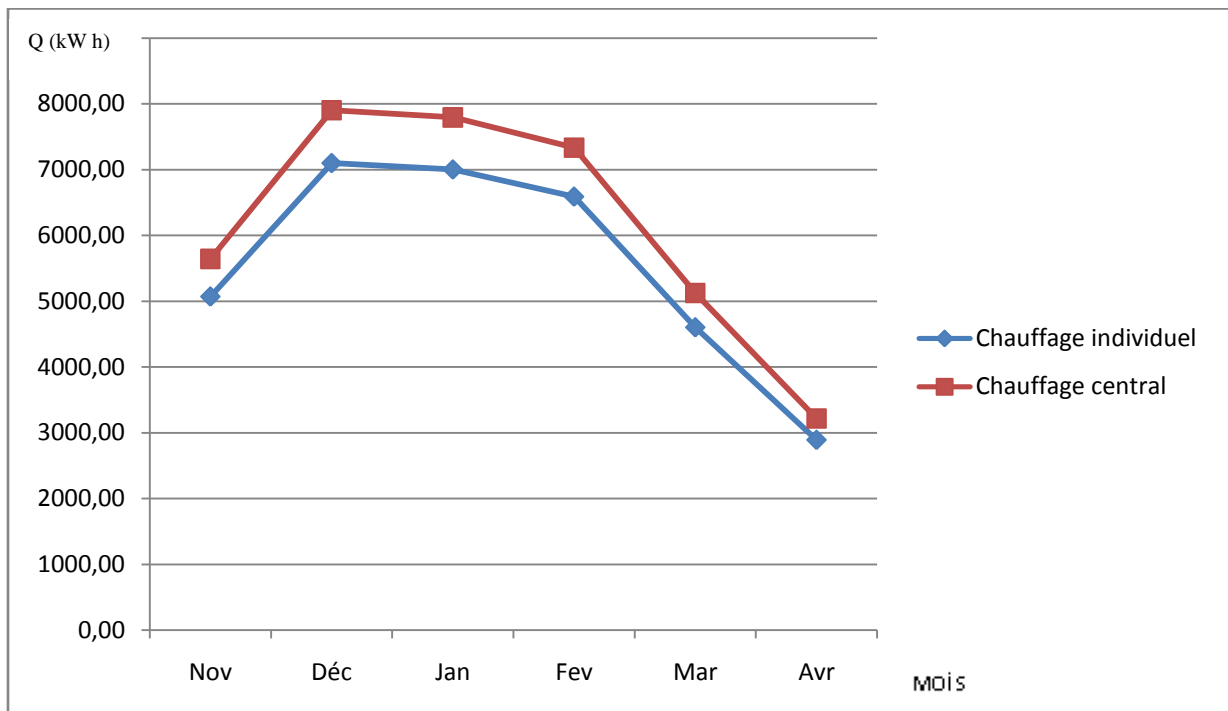


Figure (3.3) : Consommation mensuelle d'énergie

La Figure 3.3 représente la variation de la consommation mensuelle d'énergie nécessaire pour chauffer l'habitation choisie par le chauffage individuel et central.

A partir de cette figure, on constate qu'il y a une différence de consommation d'énergie entre les deux systèmes, car les conduits de distribution d'eau chaude de chauffage central parcourent des locaux non chauffés (chaufferie, vide ventilé, couloir, grenier, extérieur, ...), ceux-ci perdent une partie de leur chaleur.

Il en va de même pour les vannes, circulateurs, ... situés dans des endroits ne devant pas être chauffés.

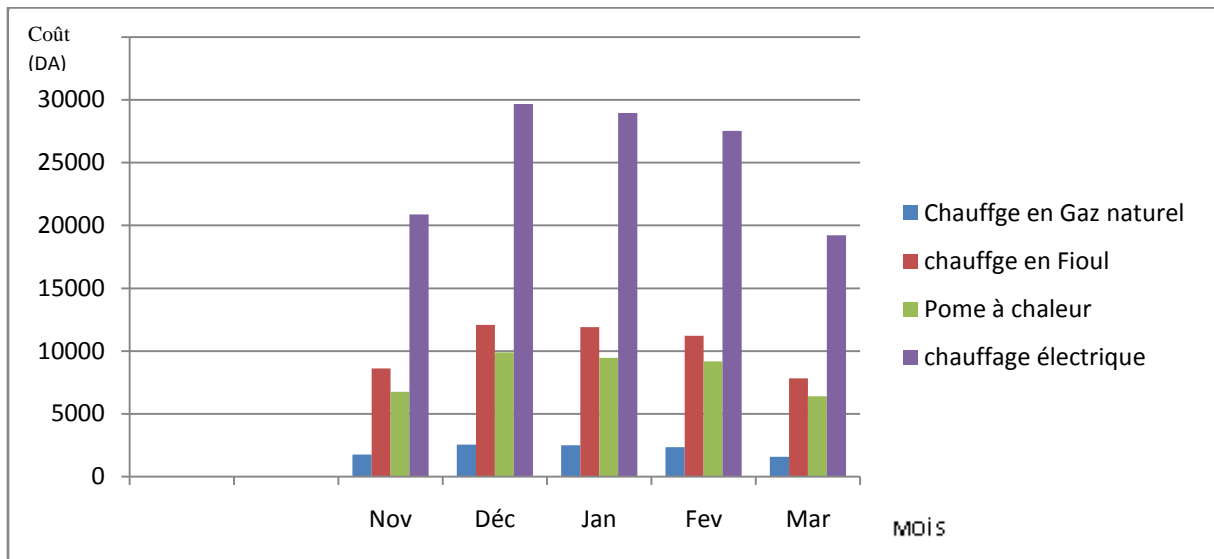


Figure (3.4) Coût d'énergie consommée par mois pour les différents types d'installations de chauffage individuel

Le graphe figurant ci-dessus montre les coûts d'énergie consommée par mois pour les différents types d'installations de chauffage individuel.

On remarque que le gaz naturel est un véritable atout énergétiques, une énergie pas chère et le plus facilement disponible en Algérie, moins cher que le fioul et l'électricité, car le gaz est une énergie primaire, disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation.

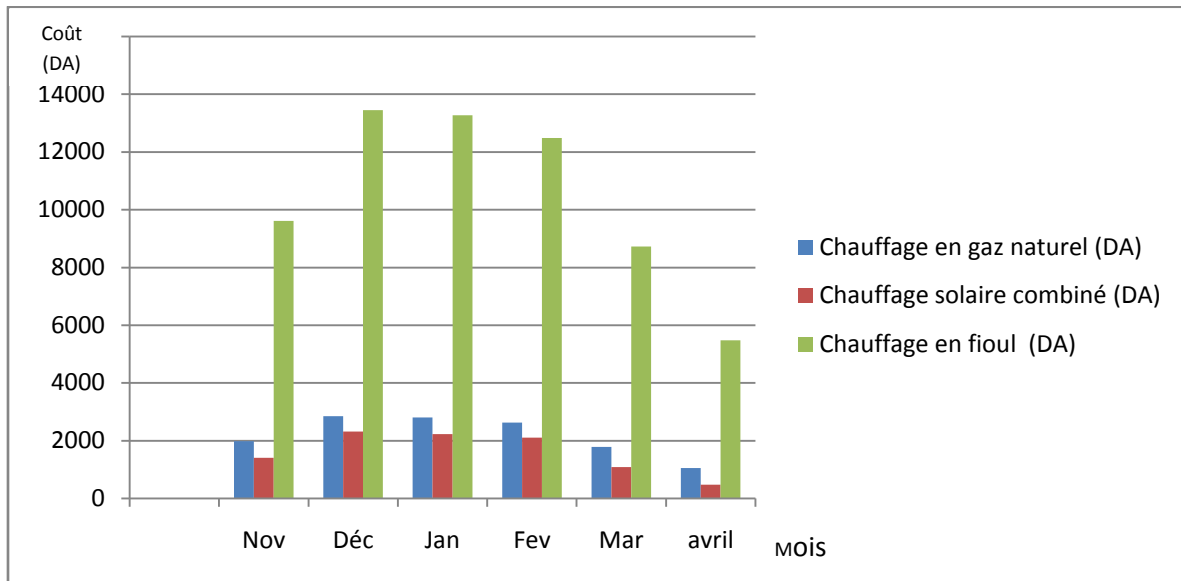


Figure (3.5) : Cout d'énergie consommée par mois pour les différents types d'installations de chauffage central

La figure 3.5 représente la variation des coûts d'énergie consommée par mois pour les différents types d'installations de chauffage, sur ce graphes on remarque que le solaire thermique permettra d'économiser d'environ 30 % d'énergie sur les besoins couverts (chauffage).

3-8 Le coût de l'installation de différents types de chauffage :

Un établissement en ROUIBA est spécialisé dans la distribution et la vente des chauffages et ses accessoires, Il nous a donné tous les prix de chauffage.

❖ Pour le Chauffage central en gaz :

Entrer les Mètres carrés pour les convertir en Mètres cubes		
M²: (ex.120)	160	
Hauteur: (ex.2.80)	3.1	
<input type="button" value="Calculer"/>		
Le volume Mètre cube est:	496	M3
<input type="button" value="Effacer"/>		

Copier et coller le volume M3		
496	Mètres Cube	▼
<input type="button" value="Calculer"/>		
Puissance chauffage nécessaire en watts	19780	Watts
Puissance chaudiere pour le "chauffage seul" nécessaire en Kw	19.78	kw
Puissance chaudiere "chauffage+eau chaude" nécessaire en KW	-	KW
Le nombre d'éléments de radiateurs nécessaire	111.	Eléments
Le nombre de radiateurs 08 éléments nécessaire	13.	Radiateurs
Le nombre de radiateurs 10 éléments nécessaire	11.	Radiateurs
Cuivre Ø22 ou Multicouche Ø20 en mètre linéaire nécessaire	106.	ML
Cuivre Ø16 ou Multicouche Ø16 en mètre linéaire nécessaire	26.	ML
Total estimation fourniture sans pose •	340256.00	DA
Total estimation de la pose*	88571.71	DA
TOTAL ESTIMATION FOURNITURE AVEC POSE**	429040.00	DA
Total estimation en Euro***	4141.59	€uro
<input type="button" value="Effacer"/>		

Une estimation de cette installation de chauffage est de : 430000.00 DA

❖ Pour le Chauffage central en fioul :

Un chauffage au fioul est plus cher qu'un chauffage au gaz à puissance égale.

Pour stocker du fuel, il est nécessaire d'installer une cuve de grande capacité chez soi, et de la faire remplir régulièrement par camion-citerne. Plusieurs choix :

Enterrer la cuve dans son jardin ;

La placer dans une fosse ;

Installer une cuve non enterrée en extérieur ;

La placer dans son habitation, dans une pièce ventilée.

Une estimation de cette installation de chauffage est de : 600000.00 DA

❖ Le chauffage solaire combiné :

Une estimation de cette installation (tout compris avec l'installation d'une chaudière gaz) est de : 2300000.00DA

❖ Pour le chauffage individuel en gaz :

Un radiateur de puissance 6 kWh est de prix : 42000.00 DA

Donc cela nécessite trois (03) radiateurs des prix : 126000.00 DA

❖ Pour le chauffage individuel en fioul :

Poêle à fioul à injection électronique de puissance 6 kW de prix : 63000.00 DA.

Donc cela nécessite trois (03) poêles des prix : 189000.00 DA

❖ Pour le chauffage individuel en électricité :

Chauffage d'appoint électrique mobile bain d'huile de puissance 2 kW de prix : 10300.00DA.

Donc cela nécessite neuf (09) Chauffages des prix : 92700.00 DA

❖ Pompe à chaleur :

PAC de puissance 3 kWh de prix : 75000.00 DA

Donc cela nécessite six (06) PAC des prix : 450000.00 DA

3-9 Tableau récapitulatif des coûts des différents modes de chauffage:

À travers les résultats précédents, on a obtenu les conséquences suivantes :

Type de chauffage	Coût d'énergie annuel (DA)	Prix de l'installation (DA)	Coût total (DA)	Coût total Après 20 ans (DA)	Taux d'augmentation de coût Après 20 ans
Chauffage central en Gaz naturel (de ville)	13101.51	430000.00	446101.51	954060.53	113.87 %
Chauffage central en fioul	63017.62	600000.00	663017.62	3120705.00	370.68 %
Chauffage solaire combiné	9626.97	2300000.00	2309626.97	2685078.67	16.26 %
Chauffage individuel en gaz naturel	11650.60	126000.00	137650.60	592024.00	330.09 %
Chauffage individuel en fioul	56591.45	189000.00	245591.45	2452658.00	898.67 %
chauffage individuel en électricité	138028.26	92700.00	230728.26	5613830.40	2333.09 %
Pompe à chaleur	45409.42	450000.00	495409.42	2266376.80	357.48 %

Tableau (3.11) : Tableau récapitulatif des coûts des différents modes de chauffage

NB :

- On n'a pas pris en considération le coût d'entretien
- On a supposé que l'augmentation moyenne des prix de l'énergie va se doubler deux fois après 20 ans et la durée de vie des différentes modes de chauffage est de 20 ans aussi.

Le tableau 3.11 représente les coûts des différents modes de chauffage, qui nous montre ce qui suit :

Le chauffage électrique :

Le chauffage électrique est facile à mettre en œuvre et sûrement l'une des solutions les moins coûteuses à l'installation.

Autre avantage, ils sont pratiqués car ils chauffent souvent très vite et pour les bons radiateurs de façon uniforme et par ailleurs le chauffage électrique ne nécessite pratiquement aucun entretien.

Inconvénient : c'est le type de chauffage le plus cher.

La pompe à chaleur :

Encore plus chère, Parce qu'elle fonctionne à l'électricité.

Le chauffage de fioul :

Il est nettement plus cher que le PAC et moins cher que le chauffage électrique.

Le chauffage de gaz :

Le gaz est le moins chère.

Le système solaire combiné :

Le solaire thermique permettra d'économiser d'environ 30 % d'énergie sur les besoins couverts (chauffage), mais le coût pour installer un système solaire combiné est très cher.

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail est l'étude, l'analyse et la comparaison entre les différents types de l'installation des chauffages, les systèmes proposés doivent assurer le chauffage d'une habitation choisie comme maison la plus commune en Algérie de type individuel.

Dans cette étude nous avons pris en considération les principaux paramètres à savoir:

- les déperditions thermiques.
- la puissance de chauffage.
- la consommation mensuelle d'énergie
- Le coût mensuel d'énergie consommé pour les différents types d'installations de chauffage

En tenant compte des résultats de cette étude, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les déperditions totales sont inférieures aux déperditions de référence, cette construction choisie respecte la norme algérienne.
- Chauffage individuel ou central? Les deux systèmes ont leurs avantages, mais les systèmes de chauffage individuel présentent des atouts majeurs tant sur le plan économique qu'écologique. Le chauffage individuel est rapide et efficace grâce à une production locale de la chaleur. Contrairement aux installations de chauffage central, les systèmes individuels ne souffrent pas de pertes de conduction ni de pertes d'arrêt. Le chauffage individuel peut aussi bien servir de chauffage principal que d'appoint. Grâce à son rendement élevé, son coût d'investissement est faible, tout comme sa consommation.
- Chauffage central, excellent confort de chauffage (la chaleur diffusée reste toujours la même), très bon rendement énergétique et ce chauffage demande peu d'entretien.

- Les coûts d'énergie pour les différents types d'installations montrent que le gaz naturel est un véritable atout énergétique, raison pour laquelle les besoins énergétiques seront couverts par le gaz naturel, car il présente la principale source des revenus du pays, L'Algérie est le 1^{er} producteur africain du gaz (plus de 50 % de la production de gaz en Afrique) et classée 10^e producteur de gaz à l'échelle mondiale. Mais cela n'empêche pas l'état algérien de commencer à adopter des solutions économiques et écologiques en investissant dans les énergies nouvelles et renouvelables, à travers l'amélioration des techniques et les aides gouvernementales qui permettent de faire baisser le coût des installations solaires ce qui incite les citoyens à exploiter l'énergie solaire pour le chauffage.

REFERENCES

- [1] Rapport Technique, ‘Document Technique Règlementaire, ‘‘Règlement Thermique des Bâtiments d’Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques’’, DTR C3-2’, Fascicule 1. CNERIB, Alger, 1998.
- [2] Sciences et technologies de l’industrie et du développement durable. www.onisep.fr
- [3] H.Rietschel, W.Raiss.Traité de chauffage et de climatisation Tome 1-2, Dunod, Paris, 1973,1974 pour la traduction française.
- [4] Manuel modulaire chauffage central, Chauffage central: généralités et dessins technique d’installation. Fonds de Formation professionnelle de la Construction, Bruxelles, 2008.
- [5] Chauffage d'appoint : à gaz, à fioul, électrique, à combustible liquide
<http://www.leroymerlin.fr>
- [6] Les différents modèles des chauffages. www.quelleenergie.fr
- .
- [7] Serge Alquier et Yves Lecoffre. Les pompes à chaleur et la maison individuelle, Éditions du Moniteur, Paris, 1982.
- [8] Boulkamh Mourad. Contribution à l’étude, la simulation et l’analyse des pompes a chaleur assistées par l’énergie solaire. Thèse de magister en génie climatique, Constantine 2008.
- [9] Brenda et Robert Vale. Maison aux énergies douces. Edition du Moniteur Paris 1979.
- [10] Etude d'une pompe à chaleur, diagramme de Mollier.WWW.chimix.com.
- [11] Bourefis Hassina. Modélisation d’un plancher chauffant cas de la région de HASSI-MESSAOUD Thèse de magister en génie climatique, Constantine 2001.
- [12] Capteur solaire thermique www.energiesdouce.com

[13] Analyse de Projets d'énergies propres. Manuel d'ingénierie et d'étude de cas RETScreen. Troisième édition. www.retscreen.net.

[14] CoolPack Tutorial- Version 1.46 departement of energy engineering technical university of Denmark (DTU). www.et.dtu.dk/CoolPack

[15] LE RECKNAGEL. RECKNAGEL-SPRENGER-HÖNEMANN. Manuel pratique du génie climatique. Chauffage et production d'eau chaude sanitaire, PYC édition, Paris, 1986

[16] Le rendement d'une installation solaire thermique. www.energieplus-lesite.be/index.php

[17] MICHEL CAPDEROU. Atlas solaire de l'Algérie, 1985

[18] Chauffage solaire combiné. www.geo-enregies.fr

[19] Centre de développement des énergies renouvelables. www.cder.dz

[20] Christian CARDONNEL. Solaire actif et passif conception, bilan thermique, habitat. Les éditions parisiennes CFP, 1983.

[21] MARCEL SOULAS. Le chauffage thermodynamique à eau froide Théorie. Pratique. Réalisation. Tome 1. 1978

ANNEXES

ANNEXE 2

**LES CARACTERISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATERIAUX
HETEROGENES**

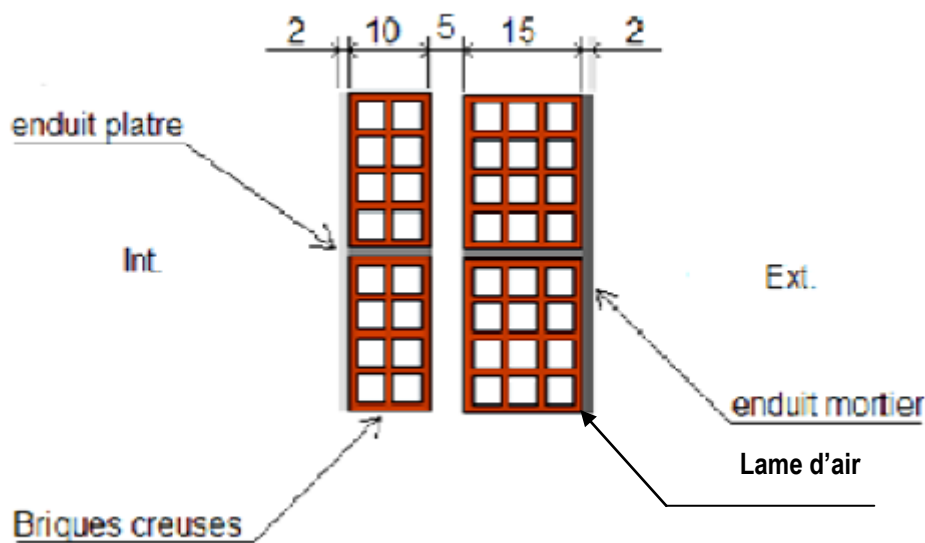
Matériau	Masse volumique sèche ρ_s (kg/m ³)	Conductivité thermique λ (W/m.°C)	Capacité thermique c (J/kg.°C)
Béton de granulats légers			
Béton caverneux de pouzzolane ou de siltier expansé	1400 à 1600	0,52	1080
	1200 à 1400	0,44	1080
	1000 à 1200	0,35	1080
Béton d'argile expansée ou de schiste expansé			
- Béton plein dit "de structure"	1600 à 1800	1,05	1080
	1400 à 1600	0,85	1080
- Béton plein dit "isolant et porteur" ..	1200 à 1400	0,70	1080
	1000 à 1200	0,46	1080
- Béton caverneux	800 à 1000	0,33	1080
	600 à 800	0,25	1080
Bétons cellulaires			
Béton autoclavé dit béton "gaz"	750 à 850	0,33	1080
	650 à 750	0,27	1080
	550 à 650	0,22	1080
	450 à 550	0,18	1080
	350 à 450	0,16	1080
Béton "mousse"	200 à 600	0,20	1080
	600 à 1200	0,50	1080
	1200 à 1800	0,80	1080
Mortier (d'enduits et joints)			
- Mortier bâtard	1900	1,15	1080
- Mortier de ciment	2200	1,4	1080
- Mortier de chaux	1800	0,87	1080
Plâtres			
- Plâtre gâché serré, ou très serré (plâtre de très haute dureté et plâtre projeté)	1100 à 1300	0,50	936
- Plâtre courant d'enduit intérieur	750 à 1000	0,35	936
- Carreaux de plâtre pleins	900 à 1000	0,35	936
Panneaux ou plaques de plâtre			
- Panneaux courant	750 à 1000	0,35	792
- Panneaux à parement de carton spécial feu	800 à 900	0,30	792
Briques silico-calcaire			
- Brique pleine	1600 à 1800	0,80	936
	1800 à 2000	1,00	936
	≥ 2000	1,10	936
- Brique perforée	1400 à 1600	0,70	936
	1200 à 1400	0,56	936

Tableau A2-1

ANNEXE 3

EXEMPLE DE CALCUL

Calcul du coefficient K d'un mur extérieur composé d'un doublage en briques, d'une lame d'air, enduit aux deux faces.



- Enduit plâtre, $\lambda_1 = 0.35 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ $r_1 = \frac{e_1}{\lambda_1} = 0.02/0.35 = 0.057$ (annexe 2)
 - Brique creuses, $e_2 = 10 \text{ cm}$ $r_2 = 0.20$ (annexe 1)
 - lame d'air, $e_3 = 5 \text{ cm}$ $r_3 = 0.16$ (Tableau 1-3)
 - Brique creuses, $e_4 = 15 \text{ cm}$ $r_4 = 0.30$ (annexe 1)
 - Enduit mortier, $\lambda_5 = 1.15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ $r_5 = \frac{e_1}{\lambda_1} = 0.02/1.15 = 0.017$ (annexe 2)
 - Résistances superficielles $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.17$ (Tableau 1-3)
 - $\Sigma R = 0.73$
 - $\frac{1}{K} = 0.90$
- $K = 1.11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

ANNEXE 4

- LES VALEURS DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE DE BASE

ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)	ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000	- 2
	300 à 500	3		≥ 1000	- 4
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	<500 ≥ 500	0 voir Zone B	D'	< 1000	5

Tableau A4-1

- LE VALEUR DE LA TEMPERATURE INFERIEUR DE BASE

Maison individuelle, immeuble d'habitation.....21°C

ANNEXE 5

- CLIMATOLOGIE DE L'ANNEE 2013 A BATNA

	janv. 2013	fev. 2013	mars 2013	avr. 2013	mai 2013	juin 2013	juil. 2013	août 2013	sept. 2013	oct. 2013	nov. 2013	dec. 2013	Année complète
Tempé. maxi extrême	19,7 le 30	22,0 le 1	24,6 le 5	30,7 le 14	32,1 le 27	38,3 le 18	41,5 le 28	39,0 le 7	36,0 le 8	35,1 le 3	26,8 le 8	17,0 le 28	41,5 le 28 juil.
Tempé. maxi moyennes	12,4	11,8	17,8	22,4	25,5	30,5	35,5	33,4	28,7	27,6	15,8	12,4	22,8
Tempé. moy moyennes	6,7	6,1	11,6	14,9	17,4	21,1	26,6	24,4	22,2	19,5	10,3	6,5	15,6
Tempé. mini moyennes	1,0	0,2	5,3	7,2	9,4	11,7	17,7	15,4	15,7	11,3	4,9	0,4	8,3
Tempé. mini extrême	-3,6 le 28	-5,6 le 27	-4,8 le 18	-0,6 le 8	4,1 le 23	0,0 le 1	12,7 le 8	10,5 le 22	10,2 le 21	0,0 le 1	-2,5 le 28	-4,0 le 18	-5,6 le 27 fev.

Tableau A5-1

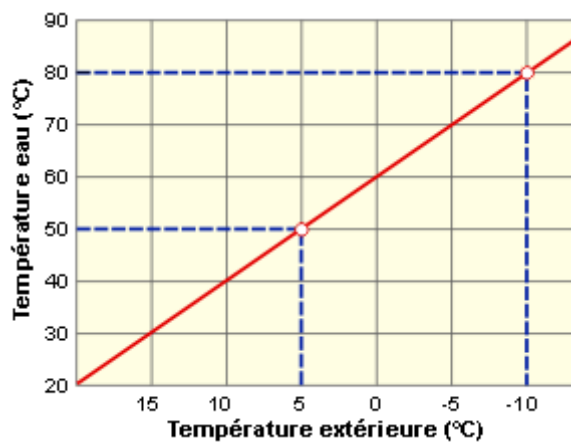
- LE VALEUR DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE DE BASE

A travers le tableau A5-1, on peut supposer que la température de bas extérieure est de -6°C

ANNEXE 6

La courbe de chauffe : besoins variables, température variable

La courbe de chauffe, via un régulateur dit "climatique", établit une correspondance entre les besoins en chaleur du bâtiment et la température de l'eau qui alimente les corps de chauffe.

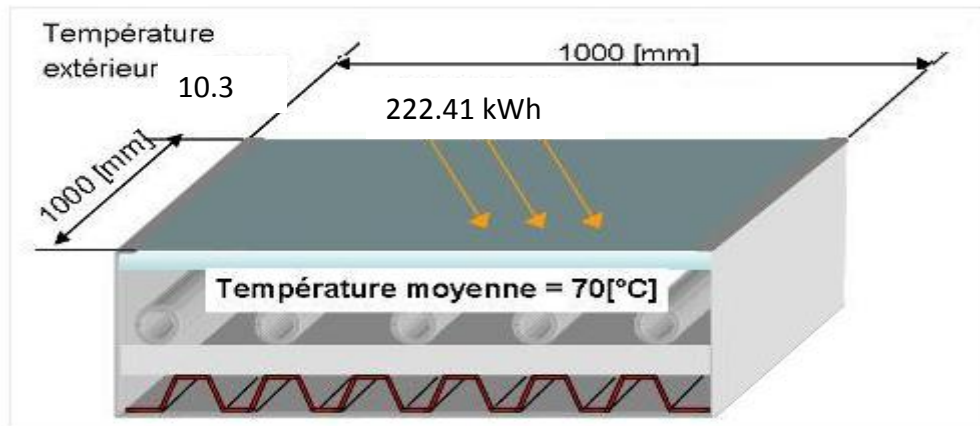


Lorsque la température extérieure est de 5°, la température de l'eau alimentant les radiateurs est de 50°C si ceux-ci ont été sélectionnés pour 70°C par - 5°C de température extérieure de base.

- On choisit la température moyenne de chauffe qui est de : 70°C

ANNEXE 7

Question: Calculez la chaleur réellement récupérée sur le capteur ci-dessous dans le mois de novembre, sachant que son rendement optique est de 77 % et son coefficient k de 3.3 [W/m². °C].

**Explication :**

Le flux solaire reçu est de 222.41 [kWh /m²].

La surface du capteur est de 1 [m²]. Il reçoit donc 222.41 [kWh].

Le rendement optique du capteur est de 77 %. Donc 171.25 [kWh] sont récupérés par l'absorbeur au fond du capteur.

Mais une partie de ces 171.25 [kWh] s'échappent vers l'extérieur du fait des pertes thermiques du capteur par convection et rayonnement.

La surface avant du capteur est de 1 [m²]

L'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur du capteur est de $70 - 10.3 = 59.7$ [°C].

Les pertes thermiques du capteur sont donc de :

$$P = k \times S \times \Delta T = 3.3 \times 1 \times 59.7 \times 11 \times 31 / 1000 = 67.18 \text{ [kWh]}$$

31 : le nombre de jours du mois de novembre.

11 : heures d'ensoleillement.

Au final, la chaleur récupérée par le capteur est de: $171.25 - 67.18 = 104.07$ [kWh]

La chaleur récupérée par surface de 15.75 m² est de : 1639.16 [kWh].

ANNEXE 8

Caractéristique des panneaux solaires thermiques (Bosch)

Pour FKC-2S:

Rendement optique : 0,77

Coefficient de perte du premier ordre a1 : 3,216 W/m².K

Coefficient de perte du second ordre a2 : 0,015 W/m².K

Pour FKC-2W:

Rendement optique : 0,77

Coefficient de perte du premier ordre a1 : 3,871 W/m².K

Coefficient de perte du second ordre a2 : 0,011 W/m².K

Installation

Capteur FKC-2 disponible en version :

- Verticale
- Horizontale.

Montages disponibles :

- Sur toiture
- En intégration
- Sur terrasse et en façade

Montage sur :

- Tuile mécanique petit galbe
- Tuile mécanique grand galbe
- Ardoises
- Tôle ondulée

Solar 5000 TF	FKC-2S	FKC-2W
Codes articles	8718530954	8718530955
Performances capteur		
Rendement optique β	0,77	0,77
Coefficient de perte du premier ordre a1	3,216 W/m ² .K	3,871 W/m ² .K
Coefficient de perte du second ordre a2	0,015 W/m ² .K	0,011 W/m ² .K
Surface		
Surface Brute	2,37 m ²	2,37 m ²
Surface d'ouverture	2,25 m ²	2,25 m ²
Autres caractéristiques		
Contenance	0,94 litre	1,35 litres
Température de stagnation	200°C	200°C
Dimensions / Poids		
Largeur	1 175 mm	2 017 mm
Longueur	2 017 mm	1 175 mm
Epaisseur	87 mm	87 mm
Poids	40 kg	40 kg

❖ Température de chauffe : 50 à 80 °C

ANNEXE 9

- POUVOIR CALORIFIQUE DES COMBUSTIBLES

Carburant	unité	PCS		PCI	
		kW.h	MJ	kW.h	MJ
Butane	kg	13,72	49	12,61	45
Propane	kg	13,83	50	12,79	46
Butane	m3	33,48	121	30,75	111
Propane	m3	25,95	93	23,95	86
Bois	kg	5,46	20	5,11	18
Fioul domestique	L	10,74	39	10,06	36
Gaz de ville (méthane)	m3	11,45	41	10,35	37

Tableau A9-1

- Quantités d'énergie et conversions

1kWh	3600 kJ
1kWh	860 kcal
1kWh	0.86 th
1kWh	3412.14 Btu
1 tep	11600 kWh

Btu : British thermal unit.

kWh : kilowattheure.

th : thermie.

kcal : kilocalorie.

tep : tonne équivalent pétrole.

Résumé

Dans cette étude, on a comparé les coûts des différents types d'installation de chauffage pour la période hivernale des locaux d'habitation. On a comparé les coûts du chauffage central, du chauffage individuel, de pompe à chaleur, du chauffage solaire, de chauffage solaire combiné... etc.

L'étude technico-économique à concerne notre pays l'Algérie et est donnée en Dinars Algériens.

Cette étude permet aux décideurs et aux citoyens de faire le bon choix de l'installation de confort.

Mots clés : Confort, Chauffage, Optimisation, Economie, PAC, Gaz, Electricité, efficacité des capteurs.etc.

Abstract

In this study, we compared the costs of different types of heating system for the winter period in residential premises. We compared the cost of central heating, individual heating, heat pump, solar heating, solar heating combined ... etc.

The techno-economic study concerns our country and the cost given Dinars Algerian.

This study enables policy-makers and citizens to make the right choice for the installation of comfort.

Keywords: Comfort, Heating, optimization, Economy, CAP, Gas, Electricity, effective capteurs.etc.

ملخص

في هذه الدراسة قمنا بالمقارنة بين مختلف أنواع التدفئة في فترة الشتاء وفيها قارنا تكاليف التدفئة المركزية, المضخات الحرارية, التدفئة الكهربائية, التدفئة الغازية... إلخ.

كانت هذه الدراسة مبنية على المقاييس الجزائرية و احتسبت بالدينار الجزائري

الهدف من هذه الدراسة إعطاء تصور أمثل لإختيار التدفئة اللازمة و تحقيق رفاهية مثلى

الكلمات الأساسية : الرفاهية, التدفئة, الأمثل, الغاز, الإقتصاد, اللاقط الشمسي,.... إلخ