



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Installation Energétique et Turbomachine

Présentée par : ABDMEZIEM Mohamed el Amine

Thème

Etude et conception d'un système de chauffage hybride solaire-gaz
d'une habitation de 120 m² pour les conditions climatiques de la
région du Wancharisse

Soutenu le, 21/09/2021

Devant le Jury :

HAMDI Amine	Président	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
ZEBBAR Djallel	Encadreur	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
KAHIL Yacine	Examineur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2020-2021

Remerciements

Nous tenons avant tout à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la volonte pour achever ce modeste travail

Nous tenons à remercions tout particulièrement notre encadreur **Professeur ZEBBAR Djallel**, non seulement pour la qualité de son encadrement mais aussi pour sa disponibilité. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude la plus sincère.

Nos remerciements s'adressent aux membres du Jury qui me font l'honneur de participer à la soutenance.

Nous remercions toute l'équipe de notre promotion dans la spécialité mécanique pour leurs esprits de famille durant le cycle d'étude.

Nous remercions également les enseignants de la formation Génie Mécanique pour tout le savoir qu'ils ont su nous transmettre durant ces années, et en particulier toutes les personnes qui nous a guider volontairement pendant notre cursus de formation ainsi qu'avec leurs précieux.

Nous ne pouvons-nous empêcher d'avoir une pensée pour ceux et celles ont répondu présent et nous ont offert leur soutien moral dans le moment difficile et qui étaient à nos côtés pour partager avec nous les moments de joie.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chers frères, Mokrane et Hamada, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A tous mes amis, Abdou, Younes, Yacine, Brahim, Ilyes et Abouda

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Amine

Sommaire

Introduction générale.....	11
1. Aperçu sur les systèmes de chauffage.....	12
1.1. Introduction.....	13
1.2. Etat de l'art et des techniques.....	13
1.2.1. Les différents modes de transferts de chaleur.....	13
1.2.2. Les anciens procédés de chauffe.....	16
1.2.3. La limite des micro-climats domestiques.....	17
1.2.4. L'isolation localisée.....	18
1.3. Fonction et classification des systèmes de chauffage.....	20
1.3.1. Historique de chauffage.....	20
1.3.2. Classification des installations de chauffage.....	22
1.3.3. Les développements les plus récents dans le domaine de chauffage.....	22
1.3.4. Les rendements des différents moyens de chauffage.....	22
1.3.5. Les avantages et les inconvénients de quelque système de chauffage.....	23
1.4. Aperçu sur les différents systèmes de chauffage hybrides.....	24
1.4.1. Avantages et inconvénients de la chaudière hybride.....	25
1.5. Conclusion.....	25
2. Présentation de l'habitation et choix du système de chauffage.....	26
2.1. Introduction.....	27
2.2. Présentation de l'habitation.....	27
2.2.1. Données relatives au site.....	27
2.2.2. Architecture du local.....	27
2.2.3. Données de bases thermodynamiques.....	27
2.2.4. Météo habituelle au Wancharisse (Tissemsilt).....	28
2.3. Réalisation d'une installation solaire thermique.....	29
2.3.1. Les composants d'une installation solaire thermique.....	30
2.3.1.1. Les capteurs solaires.....	30
2.3.1.1.1. Type de capteur solaire.....	30
2.3.1.1.2. Le montage des capteurs.....	32
2.3.1.2. Le stockage.....	33
2.3.1.2.1. Ballon de stockage.....	33
2.3.1.3. Le fluide caloporteur.....	33
2.3.1.4. Les tuyaux de raccordements.....	33
2.3.1.5. Un appoint.....	34
2.3.1.5.1. Appoint chaudière au gaz.....	34
2.3.1.5.2. Avantages.....	34
2.3.1.5.3. Inconvénients.....	34
2.3.1.5.4. La position du système d'appoint.....	34
2.3.1.6. La régulation électronique et le monitoring.....	34
2.4. Les chauffe-eau solaires.....	35
2.4.1. Description d'un chauffe- eau- solaire.....	35
2.4.2. Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.....	35
2.4.3. Les types de chauffe-eau solaire.....	37
2.4.4. Système solaire combiné (SSC).....	39

2.4.5. Le plancher solaire direct (PSD).....	40
2.5. Panneau solaire thermique : critères d'efficacité.....	41
2.6. Conclusion.....	41
3. Dimensionnement d'un système de chauffage (déperdition).....	42
3.1. Introduction.....	43
3.2. Aperçu sur les logiciels commerciaux existants.....	43
3.3. Démarches préliminaires.....	44
3.3.1. Caractérisation des différentes pièces.....	44
3.4. Formule générale de déperdition thermique.....	47
3.5. Evaluation des déperditions de base.....	47
3.5.1. Pertes par transmission.....	47
3.5.1.1. Pertes par transmission surfacique.....	47
3.5.1.2. Pertes par transmission linéique.....	50
3.5.2. Perte par renouvellement d'air (ventilation).....	51
3.6. Puissance calorifique.....	52
3.7. Les tableaux des calculs des déperditions	52
3.8. L'influence de l'isolation et de T_{ex} sur la puissance nécessaire de chauffage.....	61
3.8.1. Remarques et Interprétation.....	66
3.9. Influence du rayonnement solaire sur la puissance de chauffe.....	66
3.10. Calcul de la surface des capteurs.....	67
3.11. Conclusion.....	69
4. Dimensionnement du système de chauffage (perte de charge).....	70
4.1. Introduction.....	71
4.2. Mode de distribution de l'eau.....	71
4.3. Type de réseau de distribution.....	71
4.4. Calcul des réseaux de la tuyauterie	71
4.4.1. Pertes de charge par frottements (linéaires).....	72
4.4.2. Pertes de charge accidentelles (singulières).....	72
4.5. Hauteur manométrique d'une installation.....	72
4.6. Débits d'eau dans l'installation.....	73
4.6.1. Calculs des débits.....	73
4.7. Calculs des pertes des charges.....	74
4.7.1. Tableau de perte de charge pour l'eau chaude.....	75
4.7.2. Tableau de perte de charge pour l'eau froide.....	75
4.8. Equilibrage des ventilo-convecteurs.....	76
4.8.1. Tableau d'équilibrage des conduites d'eau chaude.....	77
4.8.2. Tableau d'équilibrage des conduites d'eau froide.....	77
4.8.3. Perte de charge dans la colonne montante pour l'eau chaude et froide.....	77
4.9. Stockage.....	77
4.9.1. Fluide caloporteur et matériaux de stockage.....	79
4.10. Analyse et comportement d'un système de chauffage	81
4.10.1. Analyse du système.....	81
4.10.1.1. Phase 1 : Première approche.....	81
4.10.1.2. Phase 2 : Analyse du système de commande.....	82
4.10.1.3. Comportement - Évolution temporelle.....	83

4.10.1.4. Observation du comportement du système.....	84
4.10.1.5. Rétroaction négative (feedback).....	84
4.10.1.6. Extension de l'environnement à l'extérieur de l'habitation.....	85
4.10.2. Analyse du système modifié.....	85
4.10.2.1. Comportement.....	86
4.10.2.2. Commande par anticipation (feedforward).....	86
4.11. Conclusion.....	86
Conclusion générale.....	87
Bibliographie.....	89
Annexe A. Perte de charge pour le chaud.....	92
Annexe B. Perte de charge pour le froid.....	93
Annexe C. Circuit chaud.....	94
Annexe D. Circuit froid.....	94
Annexe E. Valeur de $\gamma v^2/2g$ pour l'eau à 80°C.....	95
Annexe F. Tableaux de détermination de dzêta ζ	95
Annexe G. H, Tableaux de détermination de dzêta ζ	96
Annexe I. Tableaux de détermination de dzêta ζ	97
Résumé.....	98

Liste des tableaux

Chapitre 1

- Tableau 1 - Les rendements des différents moyens de chauffage
- Tableau 2 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage au bois
- Tableau 3 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage au fioul
- Tableau 4 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage à gaz
- Tableau 5 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage électrique
- Tableau 6 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage par pompe à chaleur
- Tableau 7 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage solaire
- Tableau 8 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage hybride

Chapitre 2

- Tableau 9 - Les dimensions de l'habitation

Chapitre 3

- Tableau 10 - Caractéristiques des différents matériaux de construction utilisés
- Tableau 11 - Résistance thermique d'échanges superficiels intérieurs et extérieurs
- Tableau 12 - Coefficient de transmission surfacique « K_S ».
- Tableau 13 - Coefficient de transmission surfacique « K_S » des portes.
- Tableau 14 - Coefficients de transmissions des vitrages.
- Tableau 15 - Coefficients de transmissions linéiques
- Tableau 16 - Les valeurs de P_{oj}
- Tableau 17 - Le coefficient e_{vi}
- Tableau 18 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans le salon
- Tableau 19 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans le salon
- Tableau 20 - Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans le salon
- Tableau 21 - La Charge calorifique $Q_{c tot}$ et la puissance $P_{c tot}$ nécessaire dans le salon
- Tableau 22 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans la chambre Nord
- Tableau 23 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Nord
- Tableau 24 - Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Nord
- Tableau 25 - La Charge calorifique $Q_{c tot}$ et la puissance $P_{c tot}$ nécessaire la chambre Nord
- Tableau 26 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans la chambre Nord West
- Tableau 27 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Nord West
- Tableau 28 - Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Nord West
- Tableau 29 - La Charge calorifique $Q_{c tot}$ et la puissance $P_{c tot}$ nécessaire dans la chambre Nord West
- Tableau 30 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans la chambre Sud West
- Tableau 31 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Sud West
- Tableau 32 - Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Sud West
- Tableau 33 - La Charge calorifique $Q_{c tot}$ et la puissance $P_{c tot}$ nécessaire dans la chambre Sud West
- Tableau 34 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans la chambre Sud
- Tableau 35 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Sud
- Tableau 36 - Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Sud
- Tableau 37 - La Charge calorifique $Q_{c tot}$ et la puissance $P_{c tot}$ nécessaire dans la chambre Sud
- Tableau 38 - Les déperditions par transmission surfacique D_s dans le sanitaire
- Tableau 39 - Les déperditions par transmission linéique D_L dans le sanitaire

- Tableau 40 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans le sanitaire
- Tableau 41 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans le sanitaire
- Tableau 42 – Les déperditions par transmission surfacique D_s dans la cuisine
- Tableau 43 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la cuisine
- Tableau 44 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la cuisine
- Tableau 45 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la cuisine
- Tableau 46 – Les déperditions par transmission surfacique D_s dans le couloir
- Tableau 47 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans le couloir
- Tableau 48 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans le couloir
- Tableau 49 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans le couloir
- Tableau 50 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 10$
- Tableau 51 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 5$
- Tableau 52 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 2$
- Tableau 53 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = -5$
- Tableau 54 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = -10$
- Tableau 55 - des puissances en fonction de la température extérieure et isolation faible
- Tableau 56 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 10$
- Tableau 57 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 5$
- Tableau 58 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 2$
- Tableau 59 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = -5$
- Tableau 60 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = -10$
- Tableau 61 - des puissances en fonction de la température extérieure et isolation moyenne
- Tableau 62 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 10$
- Tableau 63 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 5$
- Tableau 64 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 2$
- Tableau 65 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = -5$
- Tableau 66 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = -10$
- Tableau 67 - des puissances en fonction de la température extérieure et isolation bonne
- Tableau 68 – Les surfaces nécessaire des capteurs pour toutes les puissances calculées

Chapitre 4

- Tableau 69 – Les débits nécessaire de toutes les pièces
- Tableau 70 – Les pertes de charge d'eau chaude dans la conduite (A)
- Tableau 71 – Les pertes de charge d'eau chaude dans la conduite (B)
- Tableau 72 – Les pertes de charge d'eau froide dans la conduite (A')
- Tableau 73 – Les pertes de charge d'eau froide dans la conduite (B')
- Tableau 74 - Equilibrage des conduites d'eau chaude
- Tableau 75 - Equilibrage des conduites d'eau froide
- Tableau 76 - Perte de charge dans la colonne montante pour l'eau chaude et froide
- Tableau 77 – Récapitulatif des éléments calculés

Liste des figures

Chapitre 1

- Fig. 1 - Transfert de chaleur dans une habitation
- Fig. 2 - Modes de transfert de chaleur
- Fig. 3 - Transfert de chaleur sans isolation
- Fig. 4 - Illustration d'un paysage thermique par convection avec ventilation
- Fig. 5 - Illustration d'un paysage thermique radiant sans ventilation
- Fig. 6 - Asymétrie des radiants
- Fig. 7 - Isolation localisée
- Fig. 8 - Fauteuil d'isolation localisée
- Fig. 9 - Mobilier isolant
- Fig. 10 - Niche creusée dans le mur

Chapitre 2

- Fig. 11 - Capteur solaire plan
- Fig. 12 - Capteur solaire sous vide
- Fig. 13 - Montage des capteurs
- Fig. 14 - Schéma général du fonctionnement d'un chauffe-eau solaire
- Fig. 15 - Chauffe-eau solaire à pompe électrique
- Fig. 16 - Chauffe-eau solaire à thermosiphon
- Fig. 17 - Chauffe-eau solaire monobloc
- Fig. 18 - Chauffe-eau à auto vidange
- Fig. 19 - Système solaire combiné (SSC)
- Fig. 20 - Plancher solaire direct (PSD)

Chapitre 3

- Fig. 21 - Plan de l'habitation
- Fig. 22 - Schéma de principe
- Fig. 23 - Zoom sur le schéma de principe (les composants)
- Fig. 24 - Variation de la puissance en fonction de T_{ex} et l'isolation
- Fig. 25 - Variation temporelles des différentes puissances mises en jeu
- Fig. 26 - Variation du rendement instantané avec le rayonnement solaire
- Fig. 27 – Caractéristiques du capteur solaire Roth F2

Chapitre 4

- Fig. 28 - Les conduites des eaux chaudes et froides
- Fig. 29 - Cycle de stockage d'énergie
- Fig. 30 - Contrôleur de température
- Fig. 31 - Schéma de régulation 1
- Fig. 32 – Lecture sur le comportement du système
- Fig. 33 - Schéma de régulation 2

Nomenclature

A_i	Apport calorifique unitaire
A_j	surface de l'ouvrant j
C	Capacité thermique
c	Chaleur massique de l'eau
C_p	Capacité calorifique
C_r	Coefficient de refroidissement
d	Diamètre
D_L	Déperdition linéique
D_R	Déperdition par renouvellement d'air
D_S	Déperdition surfacique
D_t	Déperdition calorifique
D_{TS}	Le flux de chaleur franchissant la paroi
ΔT	Différence de température
ΔP	différence de pression
Δp_f	perte de charge linéaire
Δp_s	perte de charge singulière
e	Epaisseur
\ddot{e}_i	Conductivité thermique de matériau constitutif
$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{e}{\ddot{e}_i}$	Résistance à la transmission de la chaleur par conduction surfacique des parois planes
$\frac{1}{h_i}$	Résistance thermique superficielle de milieu intérieur
$\frac{1}{h_e}$	Résistance thermique superficielle du milieu extérieur.
K_L	Coefficient de transmission linéique
K_S	Coefficient de transmission surfacique
L	Langueur
l	longueur du tube
n	Nombre de couche
P_c	puissance calorifique
P_{pi}	perméabilité à l'air de la paroi i
P_{oj}	perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant
p_{ui}	Puissance
Q_c	Charge calorifique
Q_{max}	Pertes calorifiques journalières
Q_S	débit supplémentaire par infiltrations dues au vent
Q_V	Débit spécifique de ventilation
q_v	Débit
R	Résistance thermique surfacique totale
ρ	masse volumique
S	Surface d'échange
T_i	Température intérieure
T_e	Température extérieure
T_{pi}	Température paroi intérieure
T_{pe}	Température paroi extérieure
v	Vitesse
V_h	Volume habitable
λ	coefficient de perte de charge
\emptyset	Flux de chaleur
0.34	la chaleur volumique de l'air

Introduction générale

La maîtrise de l'énergie est un enjeu majeur du développement économique qui va de pair avec le développement durable. Tous les pays sont confrontés au problème de la rareté des ressources énergétiques,

Le secteur résidentiel étant le plus consommateur, cela est d'autant plus vrai pour le modèle énergétique Algérien, avec en plus une croissance soutenue du fait de la demande accrue sur le nombre de logements neufs, construit sans prendre en considération la problématique de l'énergie et le taux d'équipement des ménages en appareils demandeurs d'énergie qui ne cesse de progresser.

Les énergies renouvelables prennent jour après jour une de plus en plus importantes dans notre société. Un des changements marquants de ces dernières années est l'introduction progressive des énergies renouvelables au sein des habitations individuelles.

L'utilisation des capteurs solaires pour chauffer l'eau chaude sanitaire (ECS) est une alternative mature. Toutefois une utilisation plus large est de plus en plus envisagée surtout avec des systèmes solaires combinés, qui fournissent de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage des locaux. Ces systèmes liés à d'autres systèmes d'appoint (gaz).

Notre travail porte essentiellement sur une étude d'une installation de chauffage solaire-gaz pour assurer le confort thermique dans une habitation de 120 m², pour les conditions climatiques de la région du Wancharisse.

Organisation du travail :

Dans ce mémoire, nous avons structuré notre travail en quatre chapitres,

- Le premier chapitre comporte un aperçu sur les systèmes de chauffage.
- Le deuxième chapitre contient la présentation de l'habitation ainsi le système de chauffage solaire
- Le troisième chapitre évoque le calcul des besoins énergétiques et le dimensionnement d'une installation de chauffage solaire-gaz
- Le quatrième chapitre consiste à calculer les pertes de charge dans le réseau de tuyauterie et de débit, ainsi une analyse sur le système de chauffage.

Chapitre 01

Aperçu sur les systèmes de chauffage

1.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter le système de chauffage et son fonctionnement, ainsi les différents systèmes qui existent et leurs améliorations à travers le temps aussi les classer de selon leurs rendements et leurs avantages et inconvénients et l'énergie utilisée.

1.2 Etat de l'art et des techniques [1]

Autrefois, une famille ne se retrouvait autour du feu qu'après une dure journée passée dans le froid, ou lors des moments de détente partagés. Le reste de la pièce, peu chauffé, était adapté aux usages qui lui étaient propres, ne nécessitant pas beaucoup d'énergie et donc peu de chaleur ajoutée. À cette époque, changer de pièce signifiait changer de climat, changer d'atmosphère, pour trouver celle qui correspondait le mieux aux besoins et desideratas. L'espace habité disposait d'un paysage thermique d'une richesse et d'une volupté aujourd'hui oubliées.

1.2.1 Les différents modes de transferts de chaleur [1]

On conseille généralement aujourd'hui de chauffer uniformément nos intérieurs à une vingtaine de degrés, afin d'accéder à un confort optimal. Mais il existe en réalité de bien meilleures façons d'accéder au confort thermique, toutes basées sur trois types de transferts de chaleur :

La convection : le fait de chauffer l'air

La conduction : chauffer les corps

La radiation : chauffer par ondes électromagnétiques.

Les anciennes méthodes de chauffe étaient essentiellement basées sur la radiation et la conduction, deux transferts de chaleur qui peuvent être moins gourmands en énergie que la convection, aujourd'hui très courante. En effet, cette dernière nécessite de chauffer chaque millimètre cube d'une pièce, alors que les deux autres la transmettent directement aux individus.

Auparavant, l'énergie dépensée pour chauffer une pièce dépendait plus du nombre de personnes la fréquentant que de son volume, ce qui permettait de chauffer les églises sans trop de difficulté par exemple.

La chauffe par conduction transfère la chaleur aussi bien dans les gaz que dans les solides. Ainsi, tout corps plus chaud que l'air qui l'entoure transmettra sa chaleur à l'air l'affleurant, par conduction.

De par lui-même, l'air est un excellent isolant, c'est même la base de l'isolation thermique. Cet effet serait donc très limité si l'air à proximité des corps chauds, en chauffant, ne s'élevait pas dans les airs, instantanément remplacé par de l'air frais, créant un courant d'air.

Cet effet décrit la convection. C'est ainsi qu'un radiateur électrique (appelé aussi convecteur) arrive à chauffer toute une pièce sans ventilation mécanique.

La radiation, troisième type de transfert de chaleur, fonctionne de façon très différente : par onde électromagnétique, comme la lumière. Comme elle, elle n'a pas besoin de matière pour transmettre son énergie. C'est ainsi que le soleil chauffe la Terre malgré le vide de l'espace. Mais l'énergie radiante n'a pas de température en soit : c'est lorsqu'elle entre en contact avec de la matière que celle-ci finit par chauffer.

L'utilisation massive du chauffage central et des systèmes de climatisation nous ont persuadés que le confort de nos intérieurs dépendait principalement de la température de l'air de la pièce.

Or, de multiples échanges thermiques ont lieu en permanence entre nos corps et leur environnement extérieur : des effets de convection ont lieu entre notre peau et l'air affleurant, des effets de radiation ont lieu entre notre peau et les surfaces environnantes, des effets de convection ont lieu entre notre corps et nos fenêtres mal isolées, et des effets de climatisation sont causés par l'évaporation de notre peau.

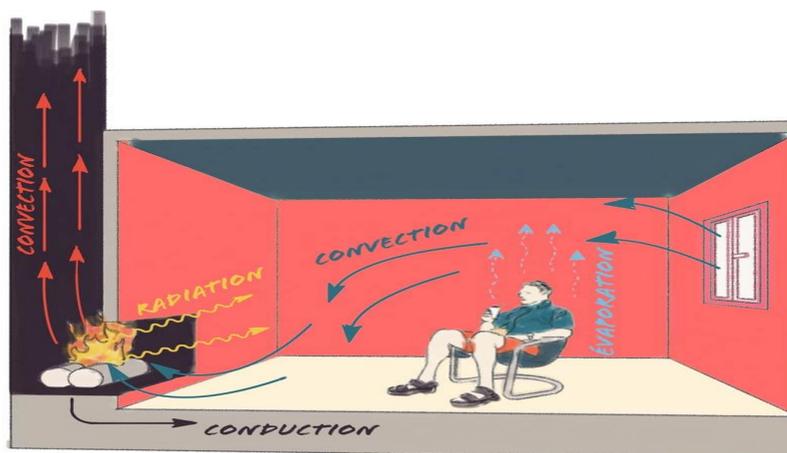


Fig. 1 - Transfert de chaleur dans une habitation [1]

En effet, une température de l'air ambiant de 19 ou même 21°C n'est pas forcément gage de confort optimal : un carrelage ou un mur froid peu même, par effet de conduction, rendre une pièce susceptible de causer des rhumes et des sources d'inconfort. À l'inverse, une tasse bien chaude, un tapis ou un fauteuil chauffant peuvent être source d'une grande sensation de confort, par leurs mêmes effets de conduction.

Ainsi, nous pourrions évoluer dans des ambiances thermiques bien plus riches et confortables, en baissant la température ambiante et en multipliant la part de chaleur transmise par radiation ou conduction.

Un chauffage radiant chauffe toutes les surfaces sur lesquels il rayonne, peau humaine comprise, apportant un confort thermal optimal à une faible température ambiante. Ils compensent

donc une température ambiante basse par une énergie radiante élevée, là où les systèmes de convection compensent le manque d'énergie radiante par un air ambiant à température élevée, plus consommateur.

Notons que dans la nature, l'énergie radiante est toujours accompagnée d'un phénomène de convection. L'air ayant une densité très faible, le soleil ne peut le chauffer directement : l'énergie radiante est absorbée par la surface terrestre, qui va pouvoir ensuite transmettre sa chaleur à l'air par convection.

L'énergie radiante ne fonctionne donc que dans un environnement clos, le moindre courant d'air annulant rapidement l'effet.

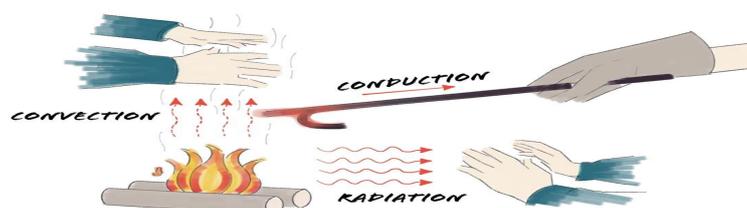


Fig. 2 – Modes de transfert de chaleur [1]

Un système de transmission uniquement radiant n'existe donc pas : la surface radiante et la surface irradiée sont en contact avec l'air, qu'ils finissent par chauffer par conduction et convection. Il en est de même pour les systèmes de chauffage central, qui finissent par chauffer les surfaces après avoir chauffé l'air ambiant.

Et comme la conduction, la radiation peut être source d'inconfort lorsqu'elle est mal usitée, comme lorsque l'on se trouve dans une pièce bien chauffée, mais adossée à une paroi ayant une forte conductivité thermique. Comme un mur peint légèrement humide. Notre corps va alors transmettre sa chaleur à ce dernier par radiation, ce qui provoque une sensation d'inconfort (voir l'illustration ci-dessous).

En résumé, que ce soit par radiation ou par conduction, les transferts de chaleur peuvent être source d'inconfort lorsqu'ils ne sont pas accompagnés d'une isolation appropriée.



Fig. 3 – Transfert de chaleur sans isolation [1]

1.2.2 Les anciens procédés de chauffe [1]

Avant l'avènement du chauffage central au vingtième siècle, la plupart des logements étaient chauffés par un système radiant, comme une cheminée ou un poêle à charbon.

Généralement, une seule pièce était équipée, mais une multitude de différents systèmes de chauffe essaïmaient l'habitat, en fonction des localisations et de leurs usages. Il existait ainsi une multitude de micro-climats, tous parfaitement adaptés à leur utilisation.

Si nous avons fait ce choix, c'était avant tout pour économiser de l'énergie. En effet, l'énergie thermique radiante décroît au fur et à mesure que l'on s'en éloigne, par phénomène de dispersion.

Ce phénomène est bien illustré par les deux schémas ci-dessous, adaptés de l'ouvrage de Richard Watson «Radiant Heating and Cooling Handbook».

Le dessin de gauche (voir Fig. 3) représente le «paysage thermique», soit la distribution de la chaleur dans une pièce, d'une salle chauffée par un système de convection, dont la température effective (la moyenne pondérée des échanges de chaleur) est de 20°C.

Si l'on met de côté l'influence de la fenêtre mal isolée en haut de l'image, la température est à peu près la même dans l'ensemble de la pièce.

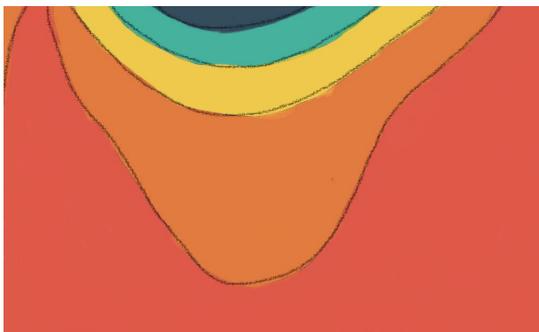


Fig. 4 - Illustration d'un paysage thermique par convection avec ventilation [1]

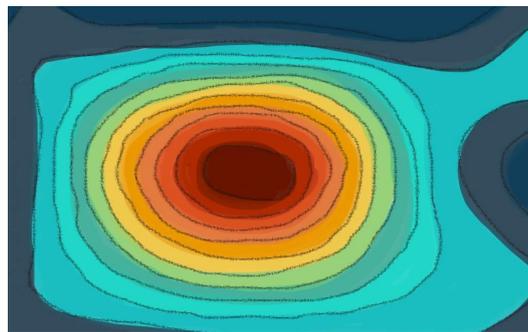


Fig. 5 - Illustration d'un paysage thermique radiant sans ventilation [1]

Le schéma de droite (voir Fig. 4) représente quand à lui la même pièce, mais munie d'un système radiant sans système de ventilation.

Il s'agit d'un système de panneaux dégageant des ondes infrarouges, mais une cheminée aurait eu un effet similaire. Le paysage radiant est désormais totalement différent : la température radiante la plus élevée est mesurée au centre de la pièce, au-dessus du panneau émetteur. La température baisse ensuite rapidement en cercles concentriques jusqu'aux murs de la pièce.

La différence entre la température minimale et la température maximale de la pièce est bien plus importante dans le deuxième cas de figure. Dans un système de chauffage par l'air, l'endroit où

vous vous trouvez dans la pièce importe peu, alors que dans un système radiant, c'est la position des individus qui fait tout.

Bien entendu, si nous avons placé nos sources de chaleur à un autre endroit, ou si nous l'avions combiné à d'autres sources de chaleur, le paysage radiant aurait été tout autre. De même, dans le cas de la radiation solaire par exemple, la position du mobilier a son importance : leur ombre influe sur le paysage radiant de la pièce.

Dans le cas d'une pièce chauffée par un système central radiant, la température générale peut être optimale alors qu'à certains coins clés de la pièce la température ressentie peut être inconfortable. Mais l'inverse est aussi vrai : la température générale peut être trop basse, alors que les coins stratégiques de la pièce sont parfaitement chauffés.

1.2.3 La limite des micro-climats domestiques [1]

À moins de se trouver dans une salle exiguë, seule une petite partie de l'énergie dépensée par un système de convection chauffera effectivement les corps habitants un espace.



Fig. 6 - Asymétrie des radiants [1]

L'un des problèmes majeurs des anciens climats intérieurs hétérogènes était l'asymétrie des radiants, soit les différentiels de températures radiantes entre des parties distinctes d'un même corps.

Une personne assise en face d'une cheminée recevra une quantité suffisante de chaleur radiante sur la partie exposée de son corps, alors que la partie de son corps à l'ombre du feu irradiera sa chaleur aux parties froides de la pièce. Ce corps peut être thermiquement équilibré – la perte de chaleur d'un côté est contrebalancée par l'excédent de l'autre côté – mais si le différentiel de température est trop important, des situations d'inconfort ou même des pathologies peuvent apparaître.

1.2.4 L'isolation localisée [1]



Fig. 7 – Isolation localisée [1]

Comme le montre cette gravure de banc muni d'un dossier pivotant, nous avons pu développer des moyens de chauffer uniformément un corps malgré la présence d'une seule source de chaleur radiante, notamment en alternant les parties exposées : lorsqu'une face du corps a été correctement réchauffée, il suffit de retourner le dossier afin de pouvoir exposer la face opposée.

L'asymétrie des radiants peut être accentuée par la fraîcheur des parois souffrant d'un grand manque d'isolation et de fuites thermiques. C'est pourquoi nos ancêtres ont commencé à y adjoindre un système d'isolation localisée pour accompagner les systèmes de chauffes.



Fig. 8 – Fauteuil d'isolation localisée [1]

Le fauteuil ci-contre, qui pouvait être recouvert de cuir ou de laine, est un bon exemple de système d'isolation localisée : il expose correctement son utilisateur à une unique source de chaleur radiante, tout en isolant ses parties non-exposées des courants d'airs ou des parois froides de la pièce.

Par la même occasion, la forme de ce mobilier concentre l'énergie radiante qu'il reçoit vers l'utilisateur, ce qui augmente grandement le rendement de ce type de chauffe.

Des études récentes ont ainsi démontré que ce type d'assise atteignait 0,4 clo, ce qui correspond à l'isolation que procure un pull en laine ou un manteau.

D'autres fauteuils à capuche pouvaient accueillir plusieurs individus.

Le mobilier isolant

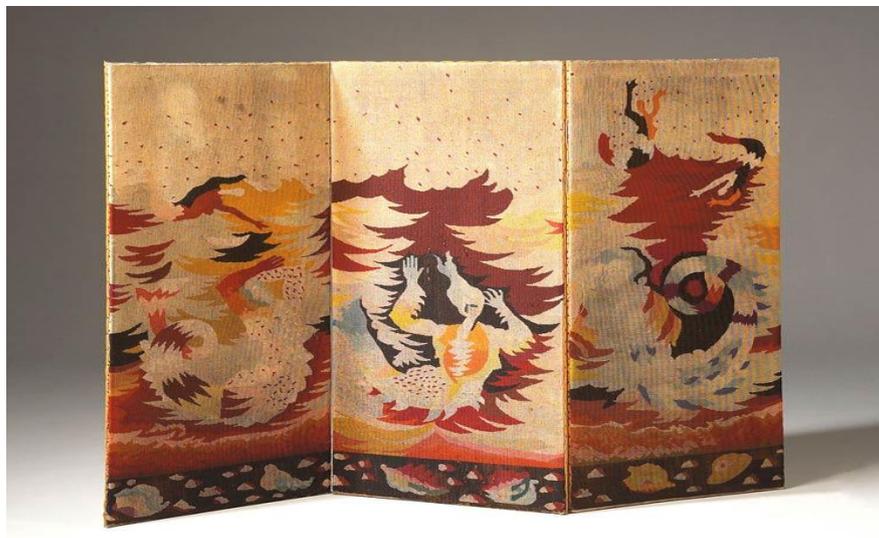


Fig. 9 – Mobilier isolant [1]

Afin de créer des micro-climats confortables, exempts de radiants asymétriques ou de courants d'airs, nos aïeux ont développé une typologie de mobiliers isolants.

Le paravent d'hiver, par exemple, isolé par du tissu ou d'épais panneaux de laine, était placé derrière un fauteuil ou une table. De la même façon que la Bergère en confessionnal, le paravent isolait la personne proche d'une unique source de chaleur des surfaces froides environnantes, créant un micro-climat très agréable.

Un autre exemple pertinent nous est donné par les espaces aménagés autour des cheminées. Il peut s'agir de simples bancs positionnés entre le feu et les parois, ou bien d'une niche creusée dans le mur, et jonchée d'assises, comme le Cantou provençal. Dans tous les cas, l'utilisateur peut s'installer près du feu, tout en étant protégé des surfaces froides et des courants d'airs inconfortables.

Les chambres, souvent démunies de systèmes de chauffage propres, disposaient elles aussi d'un meuble générateur de micro-climats : le lit à baldaquin et ses draps et rideaux épais. Lorsque ces derniers étaient tirés, le corps pouvait chauffer l'espace, alors protégé des courants d'airs.

Les points négatifs de l'isolation localisée se manifestent bien entendu dans les potentielles situations d'inconfort ressenties lorsque l'on se trouve à la marge des points de chauffe.

Autrefois, une famille ne se retrouvait autour du feu qu'après une dure journée passée dans le froid, ou lors des moments de détente partagé.



Fig. 10 - Niche creusée dans le mur [1]

Le reste de la pièce, peu chauffé, était adapté aux usages qui lui étaient propres, ne nécessitant pas beaucoup d'énergie et donc peu de chaleur ajoutée. À cette époque, changer de pièce signifiait changer de climat, changer d'atmosphère, pour trouver celle qui correspondait le mieux aux besoins et desideratas.

L'espace habité disposait d'un paysage thermique d'une richesse et d'une volupté aujourd'hui oubliée.

1.3 Fonction et classification des systèmes de chauffage [2]

1.3.1 Historique de chauffage

Le mode de chauffage le plus ancien commun à tous les peuples a été le foyer à bois servant simultanément à la préparation des repas, son principal inconvénient étant de répandre des fumées. Pour y remédier, les Romains inventèrent le charbon de bois qui brûlait dans des récipients en métal sans dégager de fumées. C'était le procédé de chauffage le plus répandu dans l'Antiquité.

En France, c'est vers le 10ème siècle que le foyer ouvert se transforma en cheminée ouverte avec évacuation des fumées en partie haute. Le poêle en tant que foyer clos avec évacuation des fumées par une cheminée dérive des anciens modèles de fourneaux à pierre; il s'est répandu à partir du 14ème siècle sous la forme du poêle à faïence qui n'a cessé d'être amélioré au cours du temps.

Le poêle en fer dérive des poêles en plaques en fonte vit le jour au 15ème siècle. Le développement ultérieur a conduit en passant par les poêles ronds du 17ème siècle, aux constructions sophistiquées actuelles

Le premier chauffage central est l'hypocauste des Romains dont le foyer est placé sous la maison et le combustible est du bois ou du charbon de bois. Ce système n'utilise pas de grille; les fumées circulent dans le vide sanitaire et s'échappent par une ou plusieurs trémies situées dans les

parois ou en applique. L'évacuation des fumées se fait par des ouvertures pratiquées en partie haute des parois latérales.

Un réservoir d'eau été souvent placé au-dessus du foyer; on peut donc considérer qu'il s'agit là de l'antique précurseur de nos installation de préparation d'eau chaude sanitaire.

Le chauffage à vapeur vit le jour en Angleterre vers 1750. La pression effective de vapeur ne dépassait pas alors 1 à 2 bar. Les corps de chauffe avaient la forme de tubes, de tubes à ailettes circulaires ou de serpentins. Vint ensuite le chauffage à vapeur basse pression, la régulation se faisant par variation de la pression de vapeur. Les premières chaudières en fonte apparurent vers 1870, d'abord aux USA, puis toujours dans ce pays les radiateurs en fonte. En 1895 apparaît la première chaudière à éléments inventée par Strebel, ingénieur-constructeur. Plus tard la régulation du débit d'air de combustion et les vannes de régulation apportèrent de notables améliorations. Les techniques du chauffage firent de grands progrès grâce à de nombreux travaux scientifiques entrepris tant en Europe qu'aux Etats-Unis. [2]

Réalisé d'abord en France et en Angleterre, le chauffage à eau chaude date de la première moitié du 18ème siècle. C'est à partir de 1850 qu'apparurent les premières entreprises de chauffage central. La circulation de l'eau chaude est alors assurée par thermosiphon. Le développement ultérieur des différents éléments fut mené parallèlement à celui du chauffage à vapeur. Ce n'est qu'à partir du début du 20ème siècle que le chauffage a pris véritablement son essor avec l'apparition des pompes de circulation. Puis petit à petit le chauffage à vapeur fit place au chauffage à eau chaude accéléré, celui-ci devenant le mode de chauffage normal des habitations et des bureaux, le chauffage à vapeur n'étant le plus souvent réservé qu'aux usines.

Le chauffage à eau surchauffée fut inventé en Angleterre par Perkins dès 1831. Il s'agissait alors d'un réseau de tuyauteries fermé, à parois épaisses, pouvant fonctionner à des pressions élevées atteignant 50 bar. Ce type de chauffage était surtout utilisé dans l'industrie. A partir de 1925, les installations sont équipées de circulateurs. Dans les chauffages urbains à eau surchauffée, la mise en température de l'eau s'effectue soit dans un réchauffeur spécial soit par mélange. Ce chauffage a fortement concurrencé le chauffage urbain à vapeur. Les développements ultérieurs de ce système ont surtout porté sur la réduction des frais d'installation et de fonctionnement en vue d'obtenir une meilleure rentabilité. [2]

- **Raison d'être de l'installation de chauffage**

On dit souvent qu'une installation de chauffage a pour rôle de maintenir en hiver tout local où séjournent des êtres humains à une température donnée. On devrait dire plus exactement qu'elle consiste à compenser les pertes calorifiques du corps humain pendant la saison froide en

réchauffant son environnement de façon à réaliser un équilibre entre production de chaleur et déperditions et assure ainsi le bien-être physique de l'être humain.

1.3.2 Classification des installations de chauffage

- D'après l'emplacement du générateur de chaleur:
Chauffages ponctuels, central, à distance;
- D'après le type d'énergie:
Chauffages au charbon, au gaz, au fuel, électrique, solaire, par pompe à chaleur;
- D'après le fluide caloporteur:
Chauffages à eau chaude, à eau surchauffée, à vapeur, à air chaud;
- D'après le mode d'émission de la chaleur:
Chauffages par convection, rayonnement, à air chaud ou combinés

1.3.3 Les développements les plus récents dans le domaine de chauffage

- L'amélioration de l'isolation thermique des constructions;
- l'utilisation à grande échelle de systèmes de régulation automatique;
- l'utilisation maximale de la chaleur des gaz brûlés dans les chaudières;
- le développement des installations de chauffage urbain;
- le chauffage par les pompes à chaleur et les énergies alternatives telles que l'énergie solaire,
- la récupération de chaleur par différentes méthodes;
- le chauffage basse température, c'est-à-dire à des températures nettement inférieures à ce qui a été longtemps pratiqué.

1.3.4 Les rendements des différents moyens de chauffage [3]

Le tableau 1 représente les rendements des différents moyens de chauffage

Tableau 1 - Les rendements des différents moyens de chauffage

Types de chauffage	Energie	Rendement
Cheminée ouverte	Bois en buches ou en briquettes	15 à 30 %
Foyer ferme	Bois en buches ou en briquettes	30 à 60 %
Poêle à bois	Bois en buches ou en granulés	40 à 65 %
Chaudière à granules	Granulés de bois	80 à 90 %
Chaudière à fioul	Fioul	85 %
Chaudière à condensation	Gaz naturel	100 %
Radiateurs électrique à inertie	Electricité	Proche de 100 %
Système solaire combine avec capteurs thermiques	Soleil	Variable en fonction de multiples paramètres
Pompe à chaleur	Géothermie - aérotherme	Définir par un coefficient de performance

1.3.5 Les avantages et les inconvénients de quelque système de chauffage [4]

Le tableau 2 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage au bois

Tableau 2 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage au bois

Appareil au bois	
Avantages	Inconvénients
- Energie propre	- Faible autonomie
- Prix du combustible bas	- Nécessite un stockage
- Permet de profiter du plaisir de la flamme	- Rendement moyen encore faible

Le tableau 3 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage au fioul

Tableau 3 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage au fioul

Chaudière fioul	
Avantages	Inconvénients
- Apporte un confort de chauffe	- Prix du fioul incertain
- Chauffe bien les grandes surfaces	- Nécessite une citerne pour le stockage
- Assure le chauffage et l'eau chaude	- Plus d'aides sur le fioul

Le tableau 4 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage à gaz

Tableau 4 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage à gaz

Chaudière gaz	
Avantages	Inconvénients
- Pas de stockage	- Nécessite un raccordement en limite de propriété
- Simple d'utilisation	
- Couvre les besoins en chauffage et en eau chaude	
- Appareil peu encombrant	
- Investissement de la chaudière et coût d'entretien faible	

Le tableau 5 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage électrique

Tableau 5 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage électrique

Chauffage électrique	
Avantages	Inconvénients
- Appareils peu coûteux à l'achat	- Répartition de la chaleur moins homogène
- Installation simple et rapide	
- Prend peu de place	

Le tableau 6 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage par pompe à chaleur.

Tableau 6 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage par pompe à chaleur

Pompe à chaleur	
Avantages	Inconvénients
- Pas de stockage ni de raccordement à une source d'énergie	- Investissement de départ important
- Permet de diviser par 3 sa facture	- Appoint nécessaire en cas de température très négative
- Peut fournir le chauffage, l'eau chaude et rafraichir en été	

Le tableau 7 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage solaire.

Tableau 7 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage solaire

Chauffage solaire	
Avantages	Inconvénients
- Une énergie renouvelable et bon marché	- Un appoint est toujours nécessaire
- Couverture des besoins en chauffage et en eau-chaude	- Un investissement important

1.4 Aperçu sur les différents systèmes de chauffage hybrides

La chaudière hybride, comme son nom l'indique, est un système de chauffage qui utilise non pas un mais deux appareils. Récente sur le marché (un peu plus d'une décennie), elle est réputée pour être une solution très économique et écologique. Ces dernières années, de plus en plus de systèmes de chauffage tirant leur énergie de l'environnement sont installés, comme les capteurs solaires et les pompes à chaleur. [5]

Les capteurs solaires thermiques utilisent l'énergie solaire notamment pour la production d'eau chaude sanitaire dans les habitations, Grâce à un système à énergie solaire pour la production d'eau chaude, il est possible d'économiser jusqu'à 60% sur la consommation d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire.

Les pompes à chaleur, quant à elles, utilisent la chaleur solaire accumulée dans l'air, l'eau souterraine ou la terre et la portent à une température suffisamment élevée pour assurer le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire dans les habitations. Les pompes à chaleur sont, elles aussi, très économes: elles tirent jusqu'à 75% de leurs besoins énergétiques de l'environnement et consomment donc beaucoup moins d'énergie qu'un système de chauffage classique.

La chaudière hybride combine deux appareils et un système intelligent pour les faire fonctionner, on peut combiner un de ces deux systèmes (capteurs solaires, pompe à chaleur) avec une autre chaudière (gaz, fioul, résistance électrique, ...) pour obtenir un système hybride

- Quelques systèmes hybrides [6]
 - Chaudières à gaz au sol avec ballon solaire intégré
 - Associer une pompe à chaleur à une chaudière à gaz le système GENIA HYBRID

Les solutions Atlantic

- Chaudière hybride sol gaz condensation et Pompe à chaleur : Hynea Hybrid Duo
- Chaudière à condensation au sol Gaz : Perfisol Hybrid Duo
- Pompe à chaleur : Alfea Hybrid Duo Gaz
- Pompe à chaleur et chaudière fioul : Alfea Hybrid Duo Fioul

1.4.1 Avantages et inconvénients de la chaudière hybride [7]

Le tableau 8 représente les avantages et les inconvénients d'un système de chauffage hybride.

Tableau 8 - Les avantages et les inconvénients de système de chauffage hybride [7]

Chauffage hybride	
Avantages	Inconvénients
- Système très performant	- Coût encore assez élevé
- Convient à toutes les saisons	- Entretien contraignant
- Système très intelligent	- Installation qui nécessite de la place
- Solution très économique et écologique	- Encore peu développée sur le marché
- Installation simple	
- Très pratique pour les logements anciens	
- Très utilisée dans les constructions neuves	
- Très fiable	
- Financement facilité	

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le système de chauffage et son fonctionnement, on a commencé par l'état de l'art ainsi on a mentionné et classifié les différents systèmes de chauffage selon leurs rendement et leurs avantages et inconvénients afin de bien choisir le meilleur système.

Chapitre 02

Présentation de l'habitation et choix du système de chauffage

2.1 Introduction

Le but de chapitre est de présenter l'habitation et d'installer un système de chauffage solaire qui permet de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse, etc.); dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement.

2.2 Présentation de l'habitation

2.2.1 Données relatives au site

Afin de pouvoir dimensionner une installation de chauffage, il est nécessaire de connaître certains paramètres se rapportant au local à étudier tels que :

- L'architecture du bâtiment.
- Son implantation géographique.

2.2.2 Architecture du local

Le local est une habitation situé à Tissemsilt zone du Wancharisse.

Tableau 9 - Les dimensions de l'habitation

Surface de l'habitation	120 m^2
Hauteur de l'habitation	3.0 m
Volume de l'habitation	360 m^3

2.2.3 Données de bases thermodynamiques

- **Conditions intérieures**

Les paramètres agissant sur le confort thermique et sur l'activité à l'intérieur du local étudié sont :

- La température de l'air.
- Le degré hygrométrique.
- Le mouvement de l'air.

- **Conditions extérieures**

L'établissement des bilans thermiques estival ou hivernal et le dimensionnement des équipements adéquats nécessitent la connaissance des effets des évolutions climatiques extérieures (température, humidité, vent, rayonnement,...).

On désigne par le climat, le comportement moyen du temps en un lieu ou en un territoire pour une certaine période de l'année tel qu'il résulte d'observation étalées sur plusieurs dizaines d'années. Par exemple, en Algérie le mois de Janvier est le mois le plus froid, alors que mois d'aout est le mois le plus chaud.

2.2.4 Météo habituelle au Wancharisse (Tissemsilt) [8]

À Tissemsilt, les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquet, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 2 °C à 35 °C et est rarement inférieure à -2 °C ou supérieure à 39 °C.

- **Température** [8]

La saison très chaude dure 2,8 mois, du 16 juin au 10 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 30 °C. Le jour le plus chaud de l'année est le 31 juillet, avec une température moyenne maximale de 35 °C et minimale de 19 °C.

La saison fraîche dure 4,1 mois, du 16 novembre au 19 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 16 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 21 janvier, avec une température moyenne minimale de 2 °C et maximale de 11 °C.

- **Vent** [8]

La vitesse horaire moyenne du vent à Tissemsilt connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 6,4 mois, du 31 octobre au 11 mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 13,8 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 21 février, avec une vitesse moyenne du vent de 15,7 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 5,6 mois, du 11 mai au 31 octobre. Le jour le plus calme de l'année est le 7 août, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 12,0 kilomètres par heure.

- **Rayonnement solaire** [8]

Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année.

La période la plus lumineuse de l'année dure 3,5 mois, du 6 mai au 22 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6,9 kWh. Le jour le plus lumineux de l'année est le 29 juin, avec une moyenne de 8,0 kWh.

La période la plus sombre de l'année dure 3,3 mois, du 1 novembre au 10 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3,7 kWh. Le jour le plus sombre de l'année est le 18 décembre, avec une moyenne de 2,6 kWh.

2.3 Réalisation d'une installation solaire thermique [9]

Les installations solaires thermiques comportent les trois groupes suivants:

- **La production de chaleur**

Se fait au moyen de capteurs solaires, dans lesquels circule habituellement un liquide. Comme les bons capteurs peuvent atteindre des températures de 200 °C, il est généralement nécessaire de prendre des mesures afin d'éviter toute surchauffe. Il est fréquent, par exemple, que les jours de beau temps, le réservoir d'accumulation atteigne une température supérieure à la valeur de consigne, pour se refroidir durant la nuit du fait de la circulation du liquide dans le champ de capteurs. Le vase d'expansion doit donc être dimensionné de manière à pouvoir absorber le contenu des capteurs (au cas où le fluide caloporteur s'évaporerait).

- **L'accumulation de chaleur**

Se fait dans un récipient dont le rôle est de conserver la chaleur entre le moment où elle est produite et celui où elle est consommée. D'habitude, ce genre de récipient stocke la chaleur correspondant à un à deux jours de consommation. L'accumulateur de chaleur, y compris les raccords et les brides, devrait être bien isolé, et toutes les conduites de raccordement être équipées d'un siphon.

- **Le transport de chaleur**

Se fait généralement au moyen d'un liquide (le fluide caloporteur). Comme les capteurs solaires sont exposés à de basses températures ambiantes, le caloporteur (eau) est additionné d'un produit antigel. Dans le cas des chauffages à air chaud ou des installations de séchage ou de déshydratation, le fluide caloporteur peut aussi être de l'air. Les capteurs à air ne nécessitent pas de protection antigel, mais ils sont trop peu efficaces pour préparer de l'eau chaude. Le caloporteur est mis en mouvement par une pompe de circulation, elle-même mise en marche ou arrêtée au moyen d'une commande thermostatique à température différentielle: la pompe se met en marche lorsque la sonde du capteur enregistre une température plus élevée que la sonde implantée dans la partie inférieure de l'accumulateur. Les conduites et les vannes doivent être isolées conformément aux prescriptions des cantons. Les conduites et l'isolation thermique devraient supporter des températures de 130 °C (voire plus à la sortie des capteurs). Pour que l'énergie solaire captée durant la journée ne se perde pas pendant la nuit via les capteurs, on met en place un dispositif anti-refoulement. Habituellement, la conduite est équipée d'un siphon à l'endroit de son raccordement avec l'accumulateur, et une vanne de retenue est montée dans le système de conduites.

2.3.1 Les composants d'une installation solaire thermique

Une installation solaire thermique est principalement composée de capteurs solaires thermiques et d'un réservoir d'eau chaude. Le principe est simple: les capteurs solaires captent les rayons du soleil et chauffent l'eau du réservoir d'eau chaude.

- Un capteur solaire
- Un réservoir
- Un réseau (tuyère)
- Une pompe

2.3.1.1 Les capteurs solaires [10]

Le Capteur solaire est l'élément de base pour la transformation d'énergie solaire en chaleur, ils peuvent être plans (vitrés ou non) ou à tubes sous-vides. Ceux-ci sont généralement placés sur le toit mais il est possible de les installer en façade ou même sur le sol. Un capteur solaire est constitué principalement de :

- Un absorbeur.
- Une isolation thermique.
- Un caisson.
- Une couverture transparente.

L'absorbeur est l'élément essentiel du capteur solaire est généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface.

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement solaire possible et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

2.3.1.1.1 Type de capteur solaire [11]

- Les capteurs solaires plans.
- Les capteurs solaires sous vide.

A l'intérieur des capteurs plans règne la pression de l'air ambiant, grasse souvent, des petites ouvertures pratiquées dans l'enveloppe du capteur. La circulation de l'air entre l'absorbeur et la plaque de couverture joue un rôle important dans le cadre des pertes énergétiques au niveau de la plaque absorbante, il est, toutefois, possible de remédier à cette déperdition par convection en éliminant l'air du capteur, c'est-à-dire en utilisant des capteurs sous vide.

a) Les capteurs plans vitrés

Les capteurs plans vitrés représentent la majorité des installations de panneaux solaires thermiques chez les particuliers. La surface absorbant les rayons du soleil est en contact avec les tubes contenant le fluide caloporteur. Ce dernier est constitué d'eau et d'antigel. Le vitrage permet, avec l'effet de serre, d'accentuer le phénomène de chauffage dans le caisson. Un isolant est mis en place sous l'ensemble des éléments pour éviter les pertes de chaleur. Il est capable de résister à de très fortes températures pour éviter tout risque d'incendie. Tout est mis en œuvre afin de garantir qu'un maximum de chaleur soit attribué au fluide.

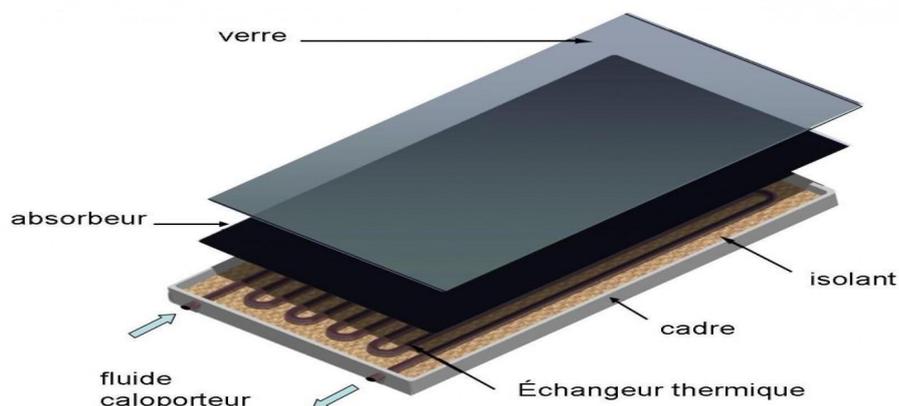


Fig. 11 - Capteur solaire plan [12]

b) Capteur sous vide

Le principe de fonctionnement des capteurs solaires thermiques sous vide est similaire à celui des capteurs plans vitrés. Le système de tubes où circulent le fluide caloporteur et la surface captant les rayons du soleil sont similaires. Or, la différence entre les deux systèmes réside dans le fait que les tubes sont dépourvus d'air. C'est ce qui lui donne son nom de « sous vide ». L'absence d'air dans les tubes permet de limiter et minimiser les pertes de chaleur. C'est un système plus performant que celui des plans vitrés et il est donc plus performant si l'ensoleillement est moins bon.

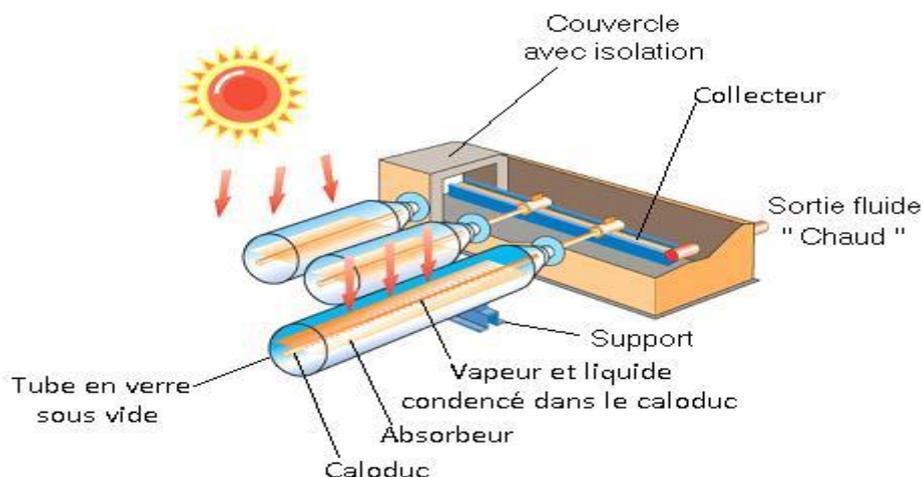


Fig. 12 - Capteur solaire sous vide [13]

Néanmoins, le coût des capteurs sous vide est nettement plus élevé par rapport à celui des capteurs plans et ce type de capteur sera souvent conseillé :

- Quand on dispose d'une faible surface pour installer les capteurs,
- Quand il n'est pas possible de placer les capteurs en direction du sud (les bouteilles peuvent être légèrement inclinées afin de diriger les absorbeurs vers le Sud).
- Quand les capteurs sont installés sur toits plats ou en façade (possibilité d'inclinaison des bouteilles permettant d'orienter les absorbeurs).

c) Capteurs solaires thermiques non vitrés

Le capteur solaire thermique non vitré, comme son nom l'indique, n'est pas pourvu d'une vitre. Il est donc plus fragile et moins performant que les deux précédents. Ces désavantages font que son prix est plus accessible. Le capteur solaire thermique non vitré est souvent utilisé par les particuliers pour chauffer l'eau d'une piscine ou pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

d) Capteurs solaires thermiques à concentration

Le capteur solaire thermique à concentration figure parmi les modèles de panneaux solaires thermiques les plus performants. Tout est mis en œuvre pour maximiser l'apport de chaleur au fluide caloporteur. Pour cela, un système de réflexion des rayons solaires est mis en place. Ainsi, ils sont concentrés sur l'absorbeur et la quantité de chaleur transmise est maximale.

2.3.1.1.2 Le montage des capteurs

Les capteurs peuvent être installés de différentes manières.

- Montage en superposition de toiture (cas A)
- Montage intégré en toiture (cas B)
- Montage sur toiture plate ou en terrasse (cas C)

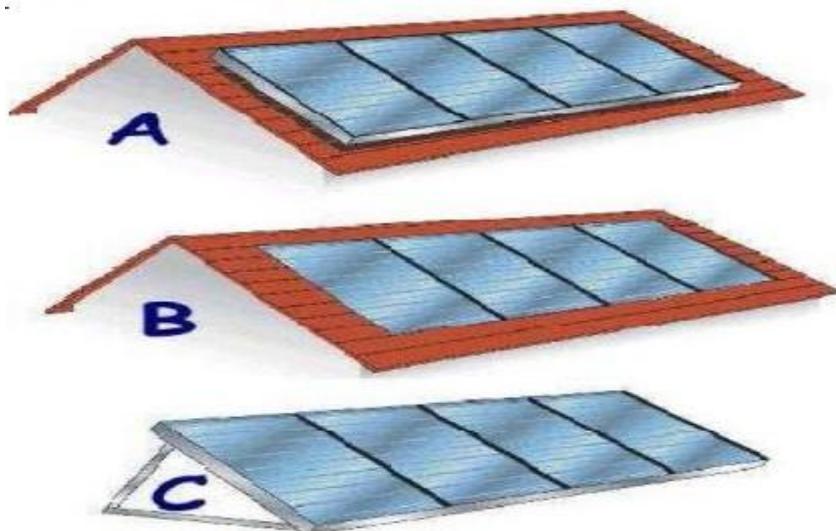


Fig. 13 - Montage des capteurs [14]

2.3.1.2 Le stockage [15]

Le stockage de l'énergie permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

2.3.1.2.1 Ballon de stockage

Le ballon solaire est une cuve métallique bien isolé constitue la réserve d'eau sanitaire, c'est l'élément clef d'une installation solaire puisqu'il permet de faire le lien entre l'intermittence de la ressource et l'utilisation de l'eau chaude, mais il représente le point faible de l'installation. Ou il a été montré que les volumes du ballon d'eau surdimensionné nécessitent une chaleur d'appoint. La performance de l'installation solaire, est en effet influencée par la répartition du champ de température au sein du ballon, où un bon fonctionnement est assuré par un volume d'eau chaude en partie supérieure du ballon pour limiter la mise en marche de l'appoint, et un volume d'eau froide en bas du ballon pour optimiser le rendement des capteurs. Ce phénomène est connu sous le nom de stratification.

L'eau chaude ayant une densité plus faible que l'eau froide a tendance à occuper l'espace supérieur du boiler lors de l'échauffement de celui-ci. Lors du puisage, la quantité d'eau chaude puisée sera remplacée dans le réservoir par de l'eau froide de la conduite. Cette eau froide arrivant par le bas, on observera une superposition de couches d'eau à des températures différentes. C'est la stratification. On obtient dans un bon réservoir de stockage différentes couches d'eau avec des températures d'eau les plus froides en bas et de plus en plus chaudes plus on monte dans le boiler. L'important est donc d'éviter tout brassage de l'eau.

2.3.1.2 Le fluide caloporteur [16]

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de l'installation c'est à dire dans le circuit reliant le boiler aux capteurs. Différents fluides peuvent être utilisés (eau, glycol, ...), mais il faut veiller au risque de gel de l'installation dû à la présence des capteurs à l'extérieur en hiver. On choisira donc habituellement de travailler avec un fluide résistant à des températures de 20°C pour nos régions ou simplement de l'eau en veillant bien à la vidange complète des parties de l'installation présentant un risque de gel.

2.3.1.4 Les tuyaux de raccordements

La nature des composants de la liaison entre le champ de capteurs et le stockage est importante. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés : le polyamide, le PER (polyéthylène réticulé), le cuivre ou l'inox. Le choix, encore une fois, dépend de la solution technique envisagée et des performances globales du système.

2.3.1.5 Un appoint [17]

Les panneaux solaires ne peuvent à eux seuls satisfaire l'entièreté des besoins en eau chaude, il est possible de couvrir 70 % des besoins en eau chaude d'un foyer. Cela ne permet donc pas une autosuffisance en énergie pour son eau chaude, mais cela permet tout de même de s'en rapprocher. Il est donc nécessaire d'avoir un système d'appoint qui assure le chauffage de l'eau lorsque la météo ne le permet pas. Et dans notre cas l'installation solaire est couplé à un système de chauffage à gaz

Le principe du système d'appoint est de réchauffer le tiers supérieur du boiler. C'est pourquoi ce système devra se situer dans la partie supérieure du boiler. L'eau, réchauffée au moyen de l'échangeur (via la chaudière mazout ou gaz) ou d'une résistance électrique, aura une densité plus élevée que l'eau située dans la partie basse du boiler et restera donc dans la partie haute de celui-ci.

2.3.1.5.1 Appoint chaudière au gaz

Un deuxième échangeur situé dans la partie supérieure du ballon de stockage d'eau chaude sanitaire permet de réchauffer le boiler par la circulation forcée au moyen d'un circulateur entre les deux dispositifs.

2.3.1.5.2 Avantages

- Généralement, l'appoint fait partie d'un ensemble rationnel de chauffage et de fourniture d'eau chaude sanitaire.
- Le chauffe-eau solaire permettra des économies d'énergie primaire (gaz) importantes, surtout avec une chaudière gaz à condensation.

2.3.1.5.3 Inconvénients

- Investissement plus important dû à la nécessité d'un ballon avec deux échangeurs ainsi que la complexité relative des contrôles et de la programmation de la chaudière.
- Besoin de maintenir la chaudière allumée pour une utilisation occasionnelle en été.

2.3.1.5.4 La position du système d'appoint [17]

On considère en généralement quatre positions du système d'appoint par rapport au stockage :

- Dans le stockage
- En série avec le stockage
- En parallèle avec le stockage
- Complètement séparé du système solaire

2.3.1.6 La régulation électronique et le monitoring [18]

Dans une installation solaire thermique, une régulation minimale est afin de réguler le processus d'échange de chaleur entre le capteur et le réservoir de stockage. C'est pourquoi, dans tous les cas, une régulation différentielle est utilisée.

- **La régulation différentielle**

Le principe de base de la régulation d'une installation de production d'eau chaude sanitaire solaire est simple. Deux sondes sont nécessaires : une première sonde située dans les capteurs solaires, une autre sur le retour vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage de l'eau sanitaire. Cette régulation est basée sur le principe d'un circuit intégré comparateur.

2.4 ; Les chauffe-eau solaires

2.4.1 ; Description d'un chauffe- eau- solaire [20]

Un chauffe-eau solaire est un équipement de captage de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire grâce à ses différents types capteurs thermique.

L'équipement comprend des capteurs solaires (placés le plus souvent en toiture) et un ballon de stockage (installé à l'intérieur de la maison ou au dehors près des capteurs). Pour relier capteurs et ballon, une tuyauterie calorifugée assure la circulation d'un liquide primaire. Et pour compléter le système on lui associe, selon les modèles, un échangeur intégré au ballon, une régulation, un circulateur et un dispositif de chauffage d'appoint.

2.4.2 Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Le principe d'un chauffe-eau solaire est simple, des panneaux solaires sont installés généralement en toiture, transforment la lumière du soleil en chaleur. Un circuit de plomberie permet de ramener cette chaleur dans un ballon, où l'eau chaude sanitaire est stockée en attendant d'être utilisée.

Durant la journée le soleil fait monter en température de l'eau du ballon. Lorsque le soleil est trop voilé une régulation arrête la circulation entre les panneaux et le ballon. L'eau chaude, protégée par l'isolation du ballon, reste disponible plusieurs jours pour les usages domestiques.

Une source d'énergie complémentaire permet de pallier les périodes de mauvais ensoleillement prolongé. Elle se déclenche lorsque la température de l'eau dans le ballon descend en dessous d'une température de consigne.

Voir les détails dans le schéma de la Fig. 14

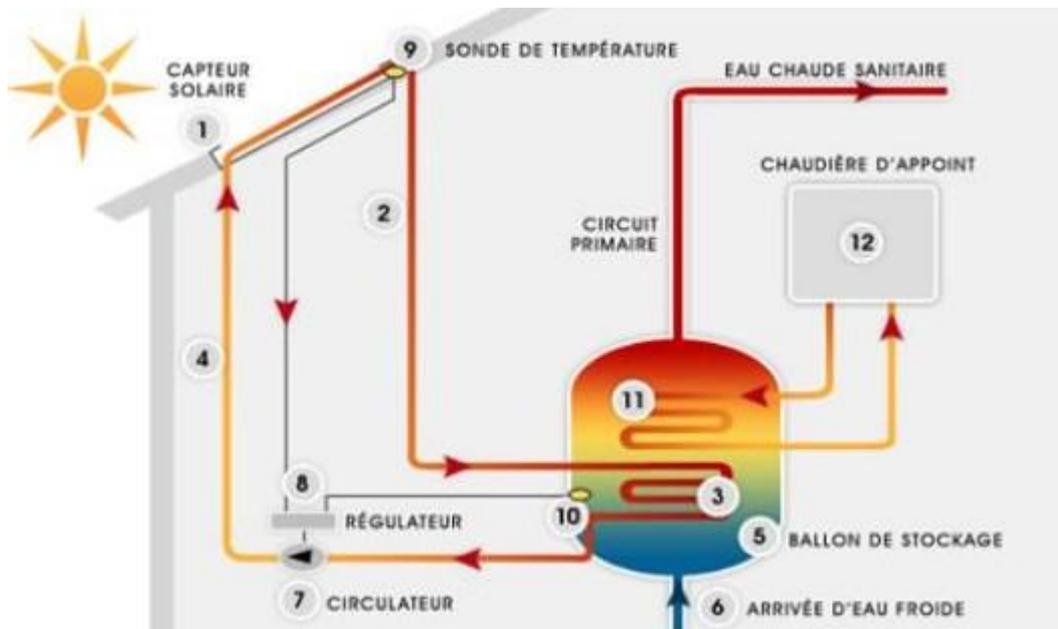


Fig. 14 - Schéma général du fonctionnement d'un chauffe-eau solaire [21]

a) Transporter la chaleur

C'est la fonction du circuit primaire (2), qui est évidemment étanche et isolé thermiquement (Les matériaux permettant de réduire les déperditions thermiques doivent isoler le circuit primaire des canalisations de chauffage, eau chaude sanitaire et chauffe-eau solaires Surtout dans une pièce sans chauffage), il contient de l'eau avec antigel. Ce liquide se réchauffe lorsqu'il traverse le tube du capteur puis pénètre dans le ballon Réserve d'eau.

b) Récupération de la chaleur

C'est grâce à un échangeur de chaleur (serpentin), il génère ses calories solaires (chaleur) pour Eau sanitaire (3). Le liquide primaire refroidi retourne au capteur (4), ou il est à nouveau réchauffé, tant que Le soleil est toujours valable. Et ainsi de suite, jusqu'à la nuit.

c) Stocker de l'eau chaude

Le réservoir d'eau solaire (5) est un réservoir d'eau métallique bien isolé, qui constitue une réserve d'eau sanitaire Dans cette maison. L'eau chaude évacuée est immédiatement remplacée par la même quantité d'eau froide prélevée sur le chauffe-eau. Le réseau (6) est chauffé séquentiellement par un mélange d'eau et d'antigel Circuit primaire.

La circulation du liquide peut être naturelle ou forcée :

1- Dans le premier cas, le liquide caloporteur circule en raison de sa différence de densité avec l'eau Des ballons. Tant qu'il fait chaud et donc moins dense que lui. Il monte naturellement Régulation de la température (circulation naturelle du liquide dans l'appareil, due à Sa densité change avec la température). Plus haut que le collecteur. Le chauffe-eau solaire conçu selon ce principe « en

Thermosiphon (système basé sur la détente et le pompage de fluide (gaz ou liquide)) Poussée d'Archimède.

2- Dans le second cas, une petite pompe électrique, circulateur (7), Liquide de transfert de chaleur (un fluide responsable du transfert de chaleur entre deux ou plusieurs sources de chaleur) Température), lorsqu'elle est plus chaude que l'eau sanitaire dans le ballon. Contrôlé par un dispositif de régulation (8) agissant sur la différence de température, si la sonde du ballon (10) est plus chaude que celle du capteur (9), la régulation coupe le circulateur. Sinon, le circulateur est remis en route et le liquide primaire réchauffe l'eau sanitaire du ballon.

2.4.3 Les types de chauffe-eau solaire [19]

Il existe quatre types de chauffe-eau solaire

- Chauffe-eau solaire à pompe électrique
- Chauffe-eau solaire à thermosiphon
- Chauffe-eau solaire monobloc
- Chauffe-eau à auto vidange

a) Chauffe-eau solaire à pompe électrique

Il s'agit de l'installation la moins technique. Une pompe électrique dans le système permet le transport du fluide caloporteur jusqu'au ballon. Il est possible de couper la pompe selon les besoins. Si le principe de fonctionnement est simple, l'installation d'un chauffe-eau à pompe électrique est relativement onéreuse.

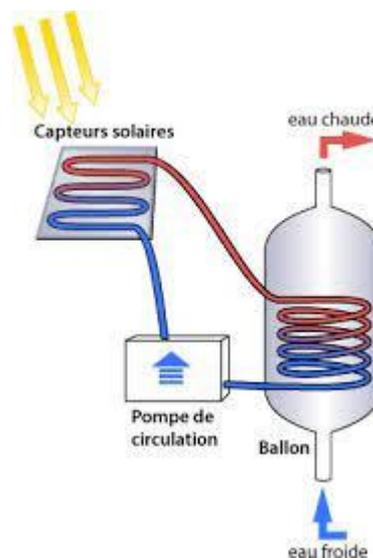


Fig. 15 - Chauffe-eau solaire à pompe électrique [22]

b) Chauffe-eau solaire à thermosiphon

Ce chauffe-eau n'a pas besoin d'installation électrique pour fonctionner. Il est donc autonome et le fluide circule grâce au phénomène de dilatation à la chaleur. Logiquement, le ballon d'eau chaude pour un système à thermosiphon, sera toujours positionné en dessous des panneaux solaires.

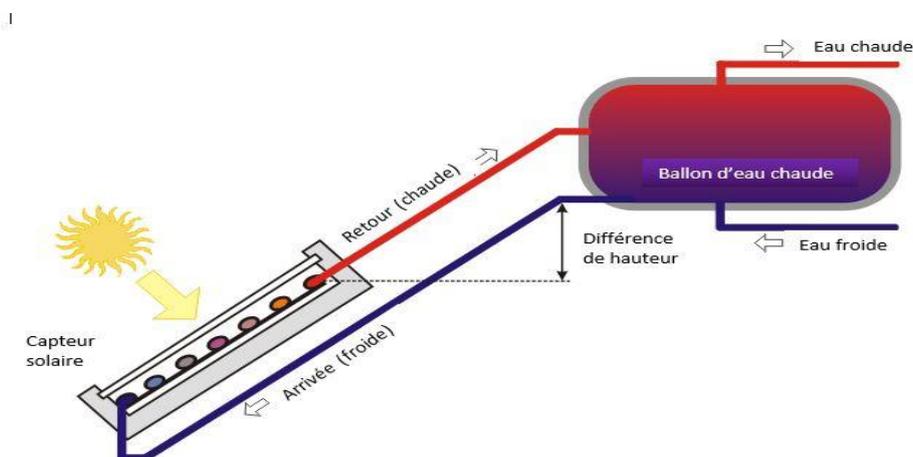


Fig. 16 - Chauffe-eau solaire à thermosiphon [23]

c) Chauffe-eau solaire monobloc

Il s'agit du système le moins performant. Pour le chauffe-eau solaire monobloc, le capteur solaire et le ballon sont regroupés sur le toit de l'habitation. Cela entraîne un refroidissement plus rapide de l'eau puisque le ballon est en contact avec l'air extérieur. Ce type d'équipement reste le plus accessible puisque ses performances sont limitées.

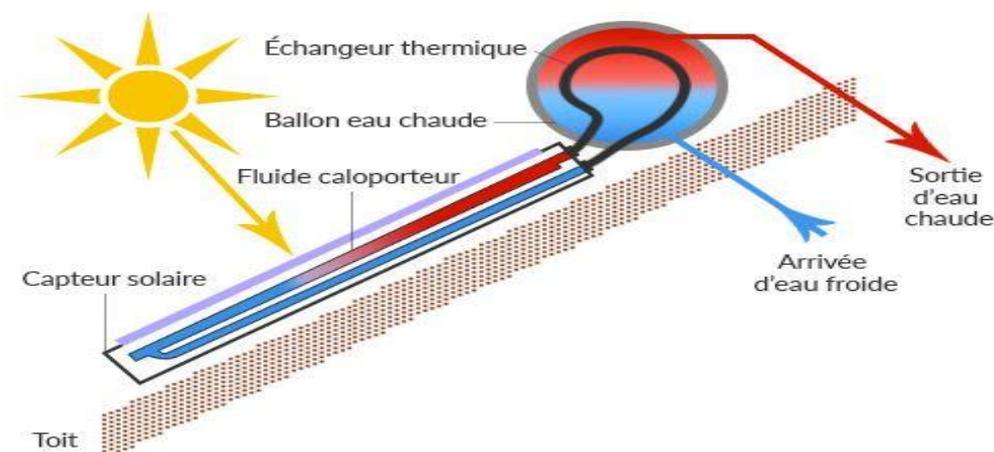


Fig. 17 - Chauffe-eau solaire monobloc [24]

d) Les chauffe-eau à auto vidange

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel, elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires. Dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement.

Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route. Dans ce cas on utilise directement l'eau sanitaire dans le circuit.

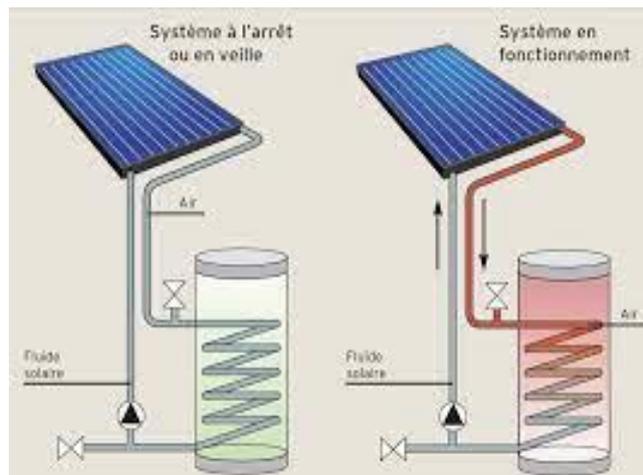


Fig. 18 - Les chauffe-eau à auto vidange [25]

2.4.4 Système solaire combiné (SSC)

Le système solaire combiné est une solution de chauffage et de production d'eau chaude novatrice et économique. Il permet, en effet, de produire de 30 à 70% des besoins annuels d'une habitation en chauffage et en eau chaude sanitaire grâce à des panneaux thermiques et un ballon d'eau chaude couplés à un chauffage complémentaire.

Le système permet de chauffer une habitation selon le même mode de fonctionnement qu'un chauffe-eau solaire. Il se compose de capteurs solaires qui sont installés sur la toiture afin de récupérer la chaleur du soleil et de la transmettre à un fluide caloporteur. C'est ce fluide qui va transmettre au système de chauffage les calories accumulées par les capteurs. Pour ce faire, il doit être équipé d'émetteurs de chaleur capables de fonctionner à basse température.

En général la surface des capteurs solaires représente de 10 à 15% de la surface à chauffer.

Pour un fonctionnement efficace, il est nécessaire de coupler le système solaire combiné à un chauffage d'appoint, afin de pallier à une période trop peu ensoleillée ou bien d'augmenter la température de l'eau, par exemple.

Le système peut ainsi être combiné avec une chaudière, un poêle à bois ou des émetteurs électriques. Beaucoup d'installateurs proposent une alliance solaire-bois afin de privilégier les énergies renouvelables.

On distingue deux types de système solaire combiné (SSC) :

- **Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon**

Ce système est basé sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir afin de restituer la chaleur tout au long de la journée. Il est constitué de quatre principaux éléments :

- Des capteurs solaires thermiques identiques utilisés avec un chauffe-eau solaire. Ils reçoivent le rayonnement solaire et ainsi chauffe l'eau. Un réservoir tampon d'eau de chauffage de grande capacité (environ 700L) intégrant la production d'eau chaude sanitaire.
- Une chaudière raccordée au réservoir pour compléter le chauffage, si besoin.
- Un ensemble de régulation.

Le fluide chauffé dans les capteurs passe dans un échangeur situé dans la partie basse du ballon de stockage. L'eau froide est réchauffée au contact de l'échangeur et lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'ensoleillement, une sonde de température déclenche l'appoint.

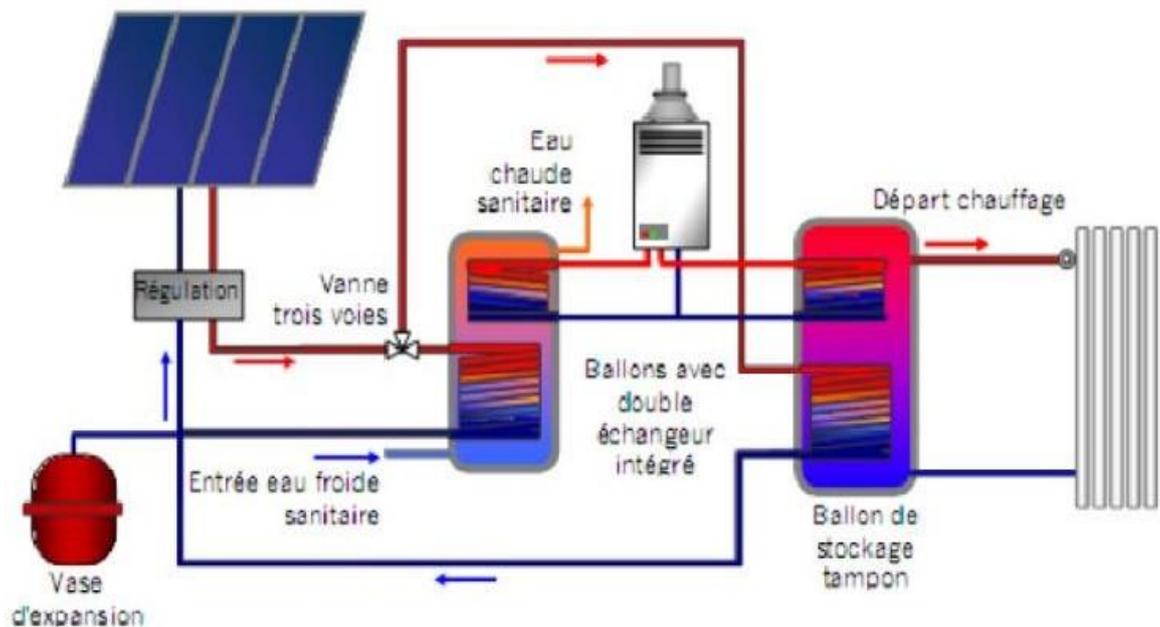


Fig. 19 - Système solaire combiné (SSC) [26]

2.4.5 Le plancher solaire direct (PSD)

Le principe de fonctionnement du plancher solaire direct est même que celui d'un SSC avec stockage, mais il n'utilise pas de réservoir tampon puisque c'est le plancher chauffant qui sert de réservoir. L'inertie thermique de la dalle permet de restituer la nuit, la chaleur accumulée le jour. Un ballon autonome assure la production et le stockage de l'eau chaude sanitaire. L'appoint peut être intégré au système solaire et dans ce cas, le plancher chauffant ou les radiateurs servent à distribuer la chaleur complémentaire qui provient d'une résistance électrique ou d'une chaudière gaz.

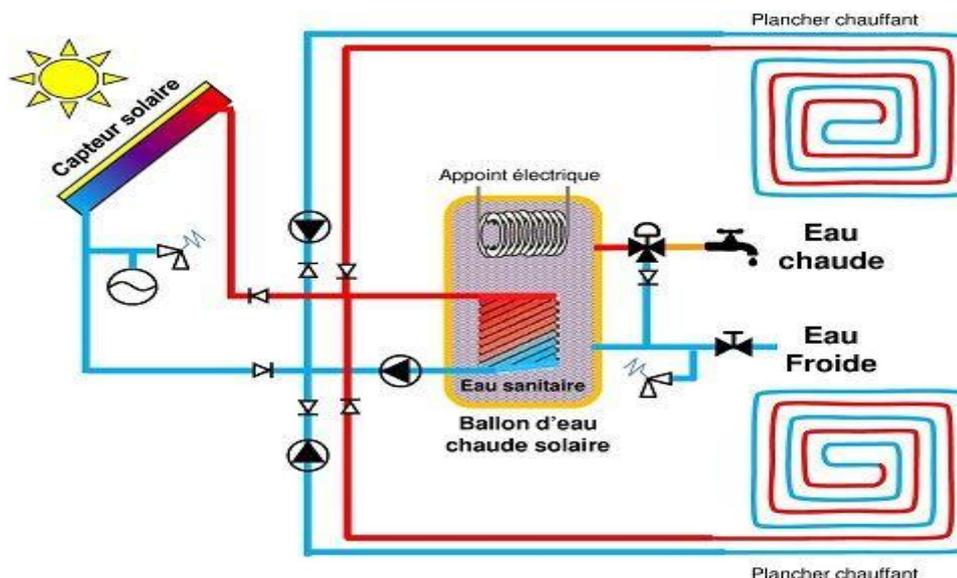


Fig. 20 - Le plancher solaire direct (PSD) [27]

2.5 Panneau solaire thermique : critères d'efficacité

S'équiper avec un système de panneaux solaires thermiques nécessite de réfléchir à une installation qui soit efficace. C'est un investissement qui peut être coûteux et la question que se posent tous les particuliers est « comment vais-je l'amortir ? ». Il faut savoir que plusieurs facteurs entrent en compte dans la performance d'une installation de panneaux solaires thermiques.

Le premier est la dimension du ballon et le nombre de panneaux solaires. Ils doivent être adaptés. Plus le ballon de stockage d'eau chaude sera gros, plus il vous faudra un nombre conséquent de panneaux pour chauffer le volume d'eau à l'intérieur. Il faut également bien évaluer le lieu d'implantation des panneaux. Comme pour des panneaux solaires photovoltaïques, il est très important de considérer l'orientation et la localisation des capteurs solaires.

2.6 Conclusion

Le chauffage solaire peut devenir très efficace dans les maisons basses consommation. Les systèmes d'énergie solaire, en particulier les chauffe-eau solaires, qui fonctionnent sur des principes simples et efficaces, dont la conversion des rayons électromagnétiques du soleil en l'énergie thermique transférée au fluide caloporteur (eau) pour répondre aux besoins ménage ou utilisé dans les processus industriels.

Les capteurs solaires planaires sont des éléments clés de l'énergie solaire. Cependant un bon Sa taille et un bon choix pour l'isolation des réservoirs, nous permet un rendement idéal pour répondre à la demande en eau chaude pour une maison personnelle.

Nous pouvons ajouter un système d'appoint pour assurer le confort thermique.

Chapitre 03
Dimensionnement d'un système de chauffage
(Déperdition)

3.1 Introduction

Dans ce chapitre on va exploiter toutes les données de bases nécessaires pour effectuer l'étude des déperditions thermiques, donc ce chapitre est consacré au bilan thermique hivernal dans le but de trouver la puissance calorifique nécessaire afin de déterminer la centrale de chauffage ainsi que le choix des unités terminales.

3.2 Aperçu sur les logiciels commerciaux existants [28]

L'objectif est de favoriser une plus grande maîtrise de l'énergie dans les entreprises et les collectivités et, plus généralement, d'aider les utilisateurs d'énergie à mieux connaître les actions possibles pour économiser et bien gérer l'énergie, ceci afin de concourir à l'objectif national de lutte pour la réduction des gaz à effet de serre, tout en améliorant leur propre rentabilité.

a) Système de mesurage

Un logiciel de gestion énergétique a généralement comme rôle d'analyser les données énergétiques dans le cadre d'un Système de mesurage de la performance énergétique.

Un système de mesurage regroupe l'ensemble des dispositifs permettant de mesurer, relever et analyser la performance énergétique d'un site ou d'un organisme. Tout système de mesurage est composé de trois briques élémentaires : les dispositifs de mesurage, les moyens de relève et les moyens d'analyse.

b) Plan de mesurage

Le plan de mesurage correspond à la démarche structurée qui permet d'orienter le futur utilisateur vers la solution technologique la plus adaptée à ses besoins. Dans le cadre d'un système de mesurage, cette démarche structurée correspond au plan de mesurage.

Voici quelques logiciels utiles

Therméo, CoDyBa, BluePac, ComfortAir HVAC, Calcul des pertes de chaleur bâtiments, Comptabilité Simple et CASAnova.

CASAnova

Programme simple qui calcule la puissance de chauffage et de refroidissement requise d'une maison sur base annuelle. L'utilisateur fournit les dimensions, l'orientation, l'emplacement et l'isolation d'un bâtiment et le programme calcule le résultat. Le programme CASAnova est particulièrement intéressant pour tester l'impact de différentes orientations, de l'isolation et de la taille du bâtiment sur des modèles simples.

3.3 Démarches préliminaires

3.3.1 Caractérisation des différentes pièces

a) Plans des locaux

Dans le présent travail, nous étudierons les locaux des chambres avec un séjour de réception en plus d'un salon et une cuisine

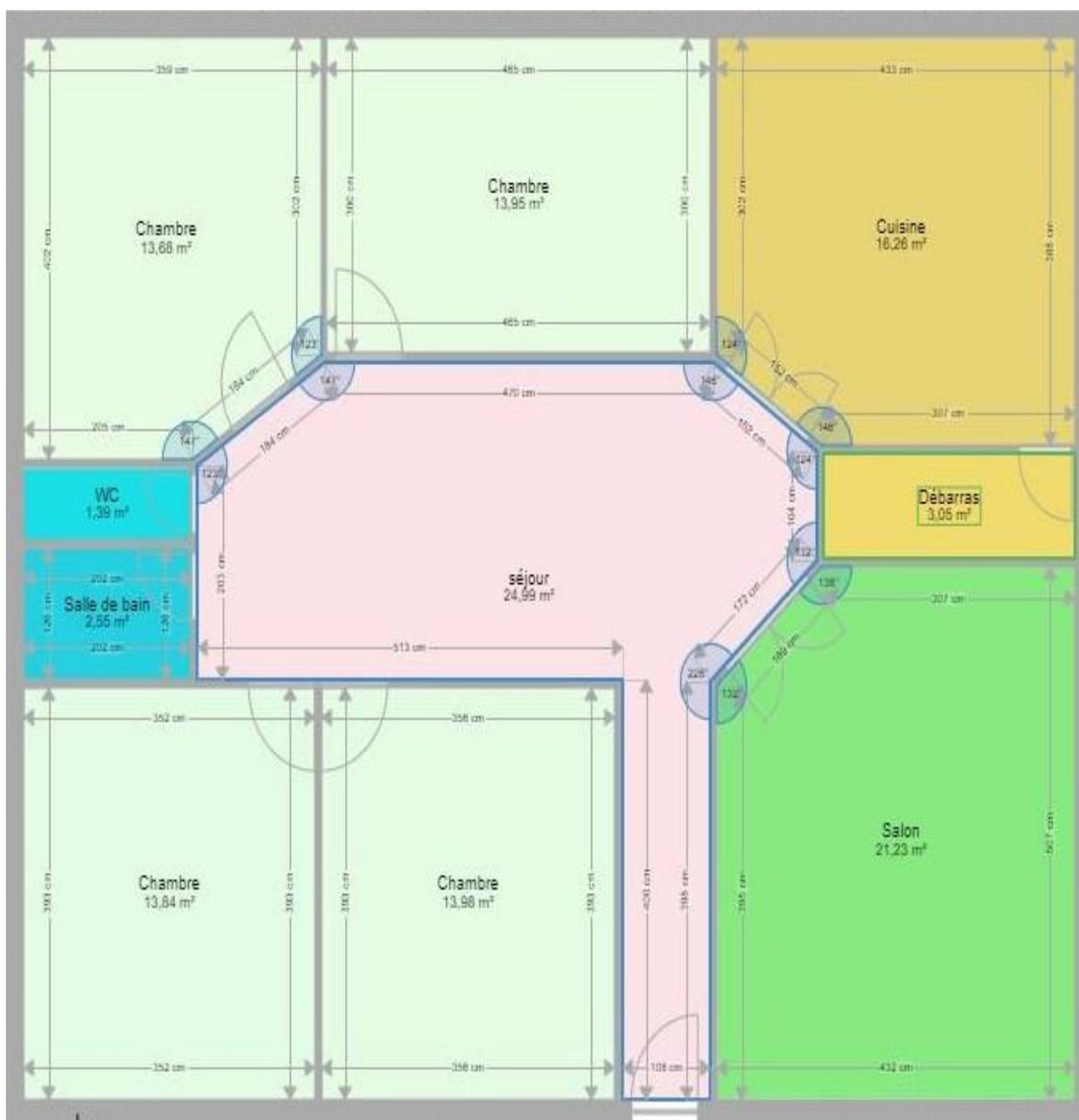


Fig. 21 - Plan de l'habitation

b) Composition des distincts murs et parois

La conception du local fait appel à une gamme de matériaux parmi les produits disponibles sur le marché national.

Les murs extérieurs qui représentent les façades principales du local sont de deux Type :

- Des murs en double cloison d'épaisseur de 34 cm. Ils sont constitués de briques creuses de 15 cm de l'extérieur et celles de 10 cm de l'intérieur, ces deux cloisons sont séparées par une

lame d'air de 5 cm d'épaisseur, de l'extérieur, les murs sont couverts d'une couche de mortier de ciment de 1 cm d'épaisseur et d'une couche de crépis de 1 cm d'épaisseur. Et l'intérieur d'une couche de plâtre (enduit) de 2 cm d'épaisseur.

- Des murs en béton d'épaisseur de 23 cm. Ils sont constitués de béton plein de 20 cm d'épaisseur. De l'extérieur d'une couche de crépis de 1 cm. De l'intérieur d'une couche de Plâtre de 2 cm.

Les murs intérieurs sont :

- Des murs en simple cloison d'épaisseur de 19 cm. Composés de briques creuses de 15 cm d'épaisseur couverte de part et d'autre d'une couche de plâtre de 2 cm d'épaisseur.
- Des murs en simple cloison de 14 cm d'épaisseur, ils sont constitués de briques creuses de 10 cm d'épaisseur, couvert par une couche de plâtre des deux côtés.

Dans le tableau qui suit, nous mentionnerons les différents composants de chaque paroi, leurs épaisseurs, la valeur de leurs conductivités thermiques, leurs masses volumiques ainsi que leurs masses surfaciques et les résistances thermiques correspondantes. [29]

Tableau 10 - Caractéristiques des différents matériaux de construction utilisés. [29]

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	Conductivité thermique $\lambda(W/m C^\circ)$	Résistance thermique $R(m^2^\circ C/W)$	Masse volumique $\rho(kg/m^3)$	Masse surfacique $m_s(kg/m^2)$
Mur à double cloison (Ext)	Crépis	0.01	0.84	0.012	3800	38
	Mortier de ciment	0.01	1.4	0.007	2200	22
	Briques creuses	0.15	0.48	0.313	900	135
	Lame d'air	0.05	/	0.110	1	0.05
	Briques creuses	0.1	0.48	0.208	900	90
	Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057	875	17.5
Mure en béton (Ext)	Crépis	0.01	0.84	0.012	3800	38
	Béton lourd	0.2	1.75	0.143	2350	470
	Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057	875	17.5
Mure à simple cloison (Int)	Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057	875	17.5
	Brique	0.15	0.48	0.313	900	90
	Carrelage	0.02	0.89	0.022	1900	
Plancher bas	Mortier ciment	0.04	0.73	0.055	2200	22
	Béton lourd	0.12	1.29	0.093	2350	470
	Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057	875	17.5
Plafond	Hourdis	0.16	0.14	1.143	/	/
	Béton lourd (chape)	0.06	1.75	0.034	2350	470

Schéma de principe

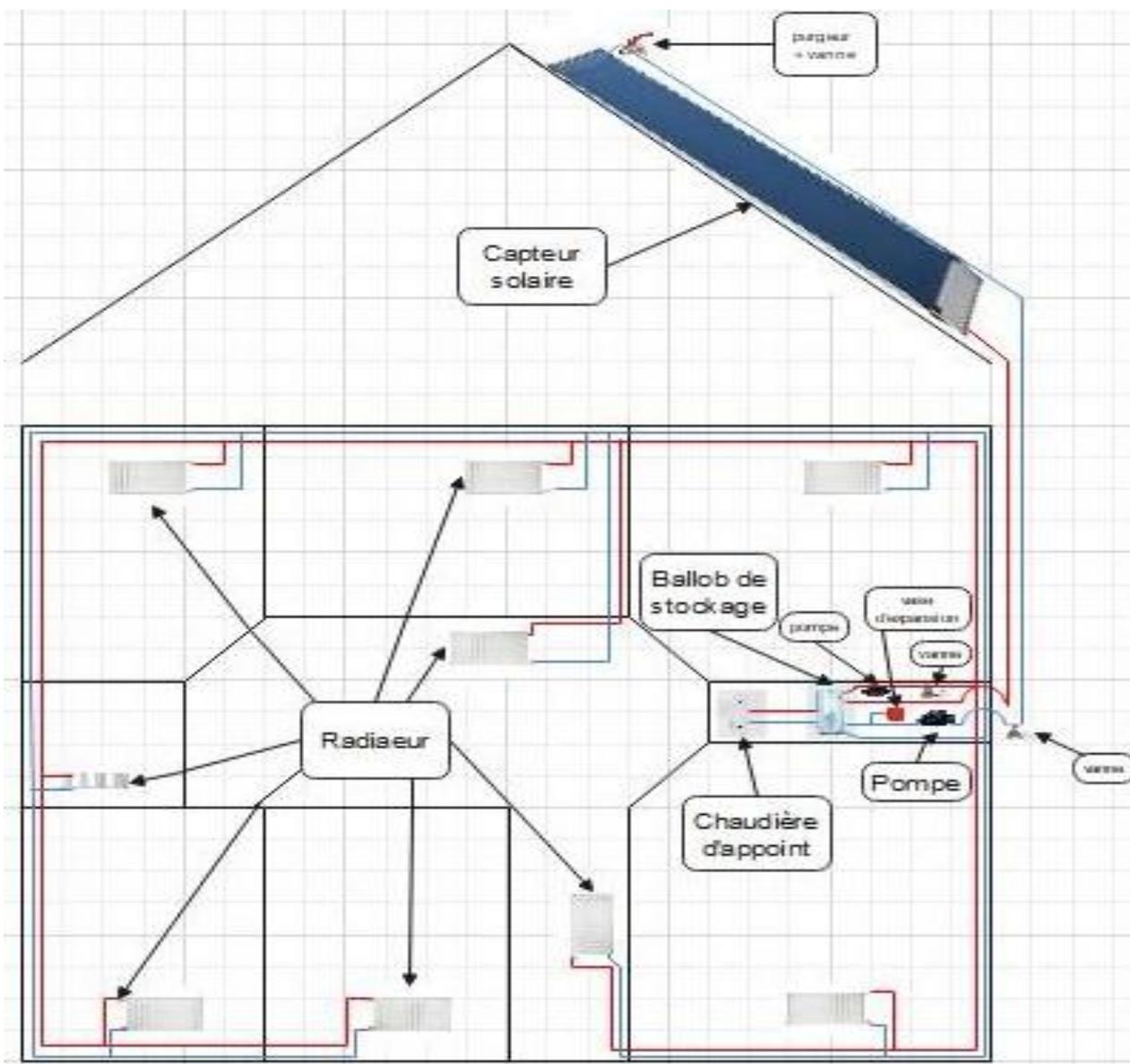


Fig. 22 – Schéma de principe

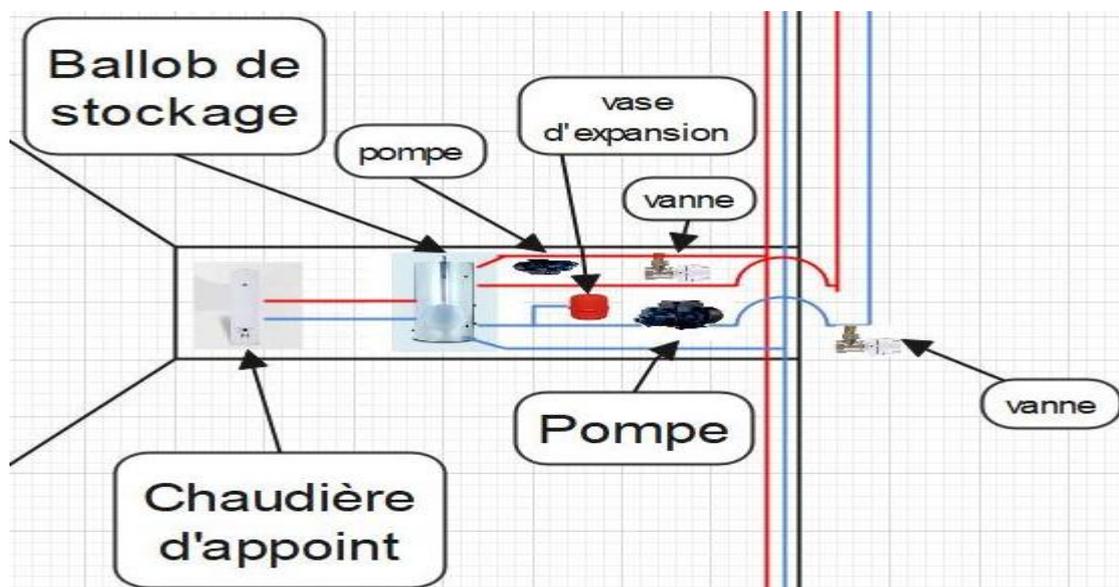


Fig. 23 – Zoom sur le schéma de principe (les composants)

3.4 Formule générale de déperdition thermique [30]

Les besoins calorifiques de l'habitation, est la somme de toutes les déperditions de chaleur à travers l'enveloppe extérieure de l'habitation, diminuant la somme des apports internes, c'est à dire :

$$Q = \sum D_t - \sum A_i \quad (1)$$

Où :

- Q : charge calorifique d'un local en Watt
- D_t : Déperdition calorifique unitaire.
- A_i : Apport calorifique interne unitaire.

3.5 Evaluation des déperditions de base

Les déperditions calorifiques d'un local ne sont autres que l'énergie thermique cédée par celui-ci au milieu extérieur. Ces pertes sont dues à la transmission à travers les parois d'une part et d'autre à la pénétration de l'air extérieur froid dans le local par les diverses ouvertures et défauts d'étanchéité.

Le calcul des déperditions s'avère très complexe, on a recours alors à des méthodes de calculs codifiées et normalisées. Dans lesquelles les déperditions sont calculées en deux catégories :

- Les déperditions par transmission (surfaiques et linéiques).
- Les déperditions par infiltration et renouvellement d'air

3.5.1 Pertes par transmission [31]

Les déperditions par transmission, sont les déperditions par conduction et par convection sans tenir compte du rayonnement, celui-ci est introduit sous forme de majoration selon l'orientation.

Un local est construit de plusieurs parois différentes (murs, portes, fenêtres). Le flux total qui quitte la salle par transmission à travers l'ensemble des parois, est la somme algébrique des flux qui traversent ces parois.

3.5.1.1 Pertes par transmission surfaiques

Considérons une paroi de surface S , séparant le local du milieu extérieur. Les températures intérieure et extérieure du local sont respectivement T_i et T_e :

$$D_{TS} = K * S * \Delta T \quad (2)$$

Avec :

- D_{TS} : Le flux de chaleur franchissant la paroi (w)
- K : Coefficient de transmission surfaique ($W/.m^2\text{°C}$)
- S : Surface d'échange (m^2).
- ΔT : Différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($\Delta T = T_i - T_e$) en °C.

– Coefficient de transmission surfacique

La chaleur est transférée entre le milieu intérieur de température (T_i) et d'un coefficient d'échange superficiels (h_i), et le milieu extérieur de température (T_e) et d'un coefficient d'échange superficiel (h_e), à travers la paroi.

L'expression du flux de chaleur qui passe à travers cette paroi, en régime permanent,

Ou $T_e \neq T_i$, s'écrit comme suit : [29]

Le transfert se fait par rayonnement et par convection du milieu intérieur à la surface de la paroi, exprimé par :

$$\Phi = h_i S (T_i - T_{pi}) \quad (3)$$

Ce même transfert se produit par conduction à travers la paroi. Il est donné par la relation suivante :

$$\Phi = \lambda \frac{S}{e} (T_{pi} - T_{pe}) \quad (4)$$

Ce flux sera transmis ensuite au milieu extérieur par rayonnement et convection :

$$\Phi = h_e S (T_{pe} - T_e) \quad (5)$$

Ce qui conduit à :

$$\frac{\Phi}{S} = \frac{T_i - T_{pi}}{\frac{1}{h_i}} = \frac{T_{pi} - T_{pe}}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{T_{pe} - T_e}{\frac{1}{h_e}} \quad (6)$$

D'où

$$\Phi = S \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (7)$$

Le flux thermique Φ à travers la surface d'échange s'exprime par la relation suivante :

$$\Phi = K S (T_i - T_e) \quad (8)$$

Avec :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (9)$$

K : coefficient de transmission thermique surfacique total, exprimé en watts par mètre carré degré Celsius.

C'est aussi l'inverse de R :

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda} \quad (10)$$

R : résistance thermique surfacique totale.

Le mur est constitué généralement de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités thermiques différentes, l'équation de calcul devient

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{e}{\tilde{e}_i}} \quad (11)$$

Où ;

- n : nombre de couche.
- e : épaisseur de paroi.
- \tilde{e}_i : Conductivité thermique de matériau constitutif.
- $\frac{1}{h_i}$: Résistance thermique superficielle de milieu intérieur.
- $\frac{1}{h_e}$: Résistance thermique superficielle du milieu extérieur.
- $\sum_{i=1}^{n-1} \frac{e}{\tilde{e}_i}$: Résistance à la transmission de la chaleur par conduction surfacique des parois planes.

– Echanges superficiels :

Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieur (1/h_i) et extérieur (1/h_e) Sont données dans le tableau qui suit :

Tableau 11 - Résistance thermique d'échanges superficiels intérieurs et extérieurs. [29]

Disposition de la paroi et sens de flux	- Paroi en contact avec l'extérieure - Un passage ouvert - Un bloc ouvert			Paroi en contact Avec - un autre local chauffé ou non, - un comble, - un vide sanitaire		
	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e
Paroi verticale (flux horizontal)	0.11	0.6	0.17	0.11	0.11	0.22
Paroi horizontal (flux ascendant)	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
Paroi horizontal (flux descendant)	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34
Ascendant (toiture)	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18

Après calculs, les valeurs des coefficients de transmission K, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 12 - Coefficient de transmission surfacique «K_s».

Désignation	Epaisseur total (m)	En contact avec	$R = \sum \frac{e}{\lambda}$	$R_i + R_e$ (m ² °C/W)	K (W/m ² °C)
Mur double cloison (ext)	34	L'extérieur	0.707	0.17	1.14
Mur double cloison (int)	19	L'intérieur	0.322	0.22	1.84
Mur en béton (ext)	23	L'extérieur	0.212	0.17	2.61
Plancher bas	0.18	Le sol	0.170	0.22	2.56
Plafond	24	L'extérieur	1.085	0.14	0.73

- Coefficients de transmission surfacique « K_S » des portes

Tableau 13 – Coefficient de transmission surfacique « K_S » des portes.

Types de portes	Portes donnant sur l'extérieur	Portes donnant sur local non chauffé
Portes opaques	3.5	2
Portes avec proportion de vitrage de 30%	4.0	2.4
Portes avec une proportion de vitrage entre 30% et 60 %	4.5	2.7

- Coefficient de transmission des vitrages

Tableau 14 - Coefficients de transmissions des vitrages. [30]

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Vitrage simple	/	Bois	5	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	

3.5.1.2 Pertes par transmission linéiques

On rencontre ce cas de déperdition tout le long d'une liaison de parois adjacentes. Les différents cas de figures qui peuvent se présenter sont :

- Liaison de deux parois extérieures.
- Liaison entre un mur extérieur et béton lourd.
- Liaison entre une paroi extérieure et une paroi intérieure.
- Liaison de deux parois intérieures.

La valeur brute de ces déperditions le long d'une liaison est donnée par la formule suivante

$$D_L = K_L * L * \Delta T \quad (12)$$

- Coefficient de transmission linéique K_L

$$K_L = \frac{K_1 + K_2}{2} * 0.2 * \frac{e_1 + e_2}{2} \quad (13)$$

Tableau 15 - Coefficients de transmissions linéiques

Désignation de liaison	K_L (W/ m°C)
Mur extérieur et mur extérieur	0.08
Mur extérieur et béton lourd	0.13
Mur extérieur et mur intérieur	0.08
Mur extérieur et plancher bas	0.1
Mur extérieur et plafond	0.09
Mur intérieur et mur intérieur	0.07
Mur intérieur et plancher bas	0.08
Mur intérieur et plafond	0.05
Mur intérieur et béton lourd	0.09

3.5.2 Perte par renouvellement d'air (ventilation) [32]

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte, elles sont dues aux ouvertures ou gaines de ventilation. Elles se présentent sous la formule suivante :

$$D_R = 0.34 (Q_V + Q_S) \quad (14)$$

Où :

- . Q_V (m^3/h) Est le débit spécifique de ventilation.
- . Q_S (m^3/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent
- . 0.34 ($Wh/m^3°C$) est la chaleur volumique de l'air

Le débit spécifique de ventilation Q_V pour un logement est donné par la formule suivante :

$$Q_V = 0.6 * V_h \quad (15)$$

- . V_h (m^3) Désigne le volume habitable.

Le débit supplémentaire Q_S dû à l'effet du vent pour un logement est donné par la formule suivante :

$$Q_S = \sum(P_{pi} * e_{vi}) \quad (16)$$

- . P_{pi} (m^3/h)(Sous une différence de pression $\Delta P = 1$ Pa) est la perméabilité à l'air de la paroi i

$$P_{pi} = \sum(P_{oj} * A_j) \quad (17)$$

- . P_{oj} : ($m^3/h.m^2$) (sous $\Delta P = 1$ Pa) est la perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant c'est à dire le débit d'air traversant 1 m² de paroi sous une différence de pression ΔP de 1 Pa
- . A_j : (en m²) est la surface de l'ouvrant j.

Tableau 16 - Les valeurs de P_{oj}

Types de paroi	Valeur de P_{oj} ($m^3/h.m^2$. sous $\Delta P = 1 Pa$)
Fenêtre ou porte fenêtre	4.0
Porte avec seuil joint d'étanchéité	1.2
Porte	6.0
Double fenêtre	2.4

Le coefficient d'exposition au vent e_{vi} est tiré du tableau suivant.

Tableau 17 - Le coefficient e_{vi}

Hauteur H (m)	Classe de rugosité				
	V	IV	III	II	I
$H < 4$	0.4	1.47	2.71	4.06	6.36
$4 < H < 7$	1.10	2.30	3.51	4.82	7.08
$7 < H < 11$	1.76	3.00	4.19	5.46	7.67
$11 < H < 18$	2.57	3.87	4.97	6.17	8.32
$18 < H < 30$	3.5	4.80	5.80	6.93	9.02
$30 < H < 50$	4.47	5.78	6.66	7.71	9.72

Dans notre cas on s'intéresse à la zone IV (zone urbaine).

3.6 Puissance calorifique

En technique de chauffage, la dénomination des différentes puissances n'est pas encore unifiée.

Donc on désignera par :

- Charge calorifique : c'est la quantité de chaleur à fournir au local pour atteindre les conditions intérieures favorables c'est une donnée se rapportant au local.
- Puissance calorifique : c'est une donnée se rapportant aux équipements comme elle désigne aussi la puissance totale à mettre en œuvre dans l'appareil.

La puissance calorifique est la charge calorifique majorée de 30% due aux pertes de l'installation.

$$P_c = Q_c + 0.3Q_c \quad (18)$$

3.7 Les tableaux des calculs des déperditions

Données :

La température extérieure est de 2°C

La température intérieure est 25°C

Alors $\Delta T = 25 - 2 = 23^\circ C$

Pour les locaux non chauffés la température intérieure est 23°C

Donc $\Delta T = 25 - 23 = 2^\circ C$

Le salon

Tableau 18 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans le salon :

Parois	Orient.	L(m)	H(m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	$\Delta T(^{\circ}C)$	D_S (watt)
M ext	Est	5.07	3.00	15.21	3.64	11.57	1.14	23	303.36
F ext	Est	1.30	1.40	1.82*2		3.64	3.30	23	276.27
M ext	Sud	4.23	3.00	12.69	1.82	10.87	1.14	23	285.01
F ext	Sud	1.30	1.40	01.82		1.82	3.30	23	138.13
M int	Nord	3.07	3.00	09.21		9.21	1.84	2	33.89
M int	West	3.95	3.00	11.85		11.85	1.84	2	43.60
M int	NW	1.72	3.00	05.07	2.64	2.43	1.84	2	8.94
P int	NW	1.20	2.20	2.64		2.64	2.00	2	10.56
Plaf	-	-	-	21.23		21.23	0.73	23	356.45
Pl bas	-	-	-	21.23		21.23	2.56	23	1250.02
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			2706.23			2327.49			

Tableau 19 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans le salon :

Nombre	L (m)	K_L	$\Delta T (^{\circ}C)$	D_L (watt)
01	5.07	0.09	23	10.49
01	4.23	0.09	23	08.75
03	3.00	0.13	23	26.91
02	3.00	0.09	02	01.08
02	3.00	0.07	02	00.84
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		48.07		41.34

Tableau 20 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans le salon :

Paroi	S (m ²)	H (m)	$V_h(m^3)$	$Q_v(\frac{m^3}{h})$	Nmbr	$P_o(m^3/h.m^2)$	A (m ²)	e_{vi}	$Q_S(m^2/h)$	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	21.23	3.0	63.69	38.21	02	04	1.82	1.47	21.40	59.61	20.26
P int	21.23	3.0	63.69	38.21	01	06	2.64	1.47	23.28	61.49	20.90
Puissance			Watt			K cal/h					
$D_{R\ tot}$			41.16			35.39					

Tableau 21 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans le salon :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	2795.46	2404.23
$P_{c\ tot}$	3634.10	3125.51

Chambre Nord

Tableau 22 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans la chambre Nord :

Parois	Orient.	L(m)	H(m)	S(m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	Nord	4.85	3.00	14.55	1.82	12.73	1.14	23	333.78
F ext	Nord	1.30	1.40	1.82		1.82	3.30	23	138.13
M int	Est	3.00	3.00	9.00		9.00	1.84	02	33.12
M int	West	3.00	3.00	9.00		9.00	1.84	02	33.12
M int	Sud	4.85	3.00	14.55	1.89	12.66	1.84	02	46.58
P int	Sud	0.86	2.20	1.89		1.89	2.00	02	7.56
Plaf	-	-	-	13.95		13.95	0.73	23	234.22
Pl bas	-	-	-	13.95		13.95	2.56	23	821.37
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			1647.88			1417.26			

Tableau 23 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Nord :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	4.85	0.09	23	10.03
02	3.00	0.13	23	17.94
04	3.00	0.09	02	02.16
02	3.00	0.05	02	00.60
01	4.85	0.05	02	00.48
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		31.21		26.84

Tableau 24 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Nord :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	13.95	3.0	41.85	25.11	01	04	1.82	1.47	10.70	35.81	12.17
P int	13.95	3.0	41.85	25.11	01	06	1.89	1.47	16.66	41.77	14.20
Puissance			Watt			K cal/h					
$D_{R\ tot}$			26.37			22.67					

Tableau 25 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la chambre Nord :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	1705.46	1466.78
$P_{c\ tot}$	2217.10	1906.81

Chambre Nord West

Tableau 26 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans la chambre Nord West :

Parois	Orient.	L (m)	H (m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	Nord	3.50	3.00	10.50	01.82	08.68	1.14	23	227.58
F ext	Nord	1.30	1.40	01.82		01.82	3.30	23	138.12
M ext	West	4.00	3.00	12.00		12.00	1.14	23	314.64
M int	Est	3.00	3.00	09.00		09.00	1.84	02	33.12
M int	Sud	2.00	3.00	06.00		06.00	1.84	02	22.08
M int	SE	1.84	3.00	05.52	01.89	03.63	1.84	02	13.35
P int	SE	0.86	2.20	01.89		01.89	2.00	02	07.56
Plaf	-	-	-	13.68		13.68	0.73	23	229.68
Pl bas	-	-	-	13.68		13.68	2.56	23	805.47
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			1791.6			1540.86			

Tableau 27 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Nord West :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	3.50	0.09	23	07.24
01	4.00	0.09	23	08.28
03	3.00	0.13	23	26.91
02	3.00	0.09	02	01.08
02	3.00	0.07	02	00.84
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		44.35		38.14

Tableau 28 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Nord West :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	13.68	3.00	41.04	24.62	01	04	1.82	1.47	10.70	35.32	12.00
P int	13.68	3.00	41.04	24.62	01	06	1.89	1.47	16.66	41.28	14.03
Puissance			Watt			K cal/h					
$D_{R\ tot}$			26.03			22.38					

Tableau 29 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la chambre Nord West :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	1862	1601.41
$P_{c\ tot}$	2420.6	2081.83

Chambre Sud West

Tableau 30 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans la chambre Sud West :

Parois	Orient.	L (m)	H (m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	Sud	3.52	3.00	10.56	01.82	08.74	1.14	23	229.16
F ext	Sud	1.30	1.40	01.82		01.82	3.30	23	138.13
M ext	West	3.93	3.00	11.79		11.79	1.14	23	309.13
M int	Est	3.93	3.00	11.79		11.79	1.84	02	43.38
M int	Nord	3.52	3.00	10.56	01.89	08.67	1.84	02	31.90
P int	Nord	0.86	2.20	01.89		01.89	2.00	02	07.56
Plaf				13.84		13.84	0.73	23	232.37
Pl bas				13.84		13.84	2.56	23	814.90
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			1806.53			1553.70			

Tableau 31 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Sud West :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	3.52	0.09	23	07.28
01	3.93	0.09	23	08.13
03	3.00	0.13	23	26.91
02	3.00	0.09	02	01.08
01	3.00	0.07	02	00.42
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		43.82		37.68

Tableau 32 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Sud West :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	13.84	3.00	41.52	24.91	01	04	1.82	1.47	10.70	52.22	17.75
P int	13.84	3.00	41.52	24.91	01	06	1.89	1.47	16.66	58.18	19.78
Puissance		Watt		K cal/h							
$D_{R\ tot}$		37.53		32.27							

Tableau 33 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la chambre Sud West :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	1887.88	1623.67
$P_{c\ tot}$	2454.24	2110.11

Chambre Sud

Tableau 34 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans la chambre Sud :

Parois	Orient.	L (m)	H (m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	Sud	3.56	3.00	10.68	1.82	08.86	1.14	23	232.30
F ext	Sud	1.30	1.40	01.82		1.82	3.30	23	138.13
M int	Est	3.93	3.00	11.79		11.79	1.84	02	43.38
M int	West	3.93	3.00	11.79		11.79	1.84	02	43.38
M int	Nord	3.56	3.00	10.68	1.89	08.79	1.84	02	32.34
P int	Nord	0.86	2.20	01.89		01.89	2.00	02	7.56
Plaf				13.98		13.98	0.73	23	234.72
Pl bas				13.98		13.98	2.56	23	823.14
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			1554.95			1337.33			

Tableau 35 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la chambre Sud :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	3.56	0.09	23	07.36
02	3.00	0.13	23	08.97
04	3.00	0.09	02	02.16
02	3.93	0.05	02	00.78
01	3.56	0.05	02	00.35
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		19.62		16.87

Tableau 36 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la chambre Sud :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	13.98	3.0	41.94	25.16	01	04	1.82	1.47	10.70	35.86	12.19
P int	13.98	3.0	41.94	25.16	01	06	1.89	1.47	16.66	41.82	14.21
Puissance			Watt			K cal/h					
$D_{R\ tot}$			26.40			22.70					

Tableau 37 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la chambre Sud :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	1600.97	1376.91
$P_{c\ tot}$	2081.26	1789.98

Sanitaire

Tableau 38 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans le sanitaire :

Parois	Orient.	L (m)	H (m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	West	2.00	3.00	06.00	0.18	05.82	1.14	23	152.60
F ext	Sud	0.30	0.30	00.09*2		00.18	3.30	23	13.66
M int	Nord	2.00	3.00	06.00		06.00	1.84	02	22.08
M int	Sud	2.00	3.00	06.00		06.00	1.84	02	22.08
M int	Est	2.00	3.00	06.00	3.78	02.22	1.84	02	8.16
P int	Est	0.86	2.20	01.89*2		03.78	2.00	02	15.12
Plaf				04.00		04.00	0.73	23	67.16
Pl bas				04.00		04.00	2.56	23	235.52
Puissance			Watt			K cal/h			
$D_{S\ tot}$			536.38			461.31			

Tableau 39 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans le sanitaire :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	2.00	0.09	23	04.14
02	3.00	0.13	23	08.97
04	3.00	0.09	02	02.16
03	2.00	0.05	02	00.60
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		15.87		13.64

Tableau 40 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans le sanitaire :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	04.00	3.0	12.00	07.20	02	04	0.09	1.47	01.05	08.25	02.80
P int	04.00	3.0	12.00	07.20	02	06	1.89	1.47	33.33	40.53	13.78
Puissance			Watt			K cal/h					
$D_{R\ tot}$			16.58			14.26					

Tableau 41 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans le sanitaire :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	568.83	489.22
$P_{c\ tot}$	739.47	635.98

Cuisine

Tableau 42 – Les déperditions par transmission surfacique D_S dans la cuisine :

Parois	Orient.	L (m)	H (m)	S (m ²)	déduction	S.retenu	K_S	ΔT	D_S (watt)
M ext	Nord	4.33	3.00	13.00	01.82	11.18	1.14	23	293.13
F ext	Nord	1.30	1.40	01.82		01.82	3.30	23	138.13
M ext	Est	3.86	3.00	11.58		11.58	1.14	23	303.62
M int	West	3.00	3.00	09.00		09.00	1.84	02	33.12
M int	Sud	3.00	3.00	09.00	01.89	07.11	1.84	02	26.16
M int	SW	1.52	3.00	04.56	02.64	02.67	1.84	02	09.82
P int	SW	1.20	2.20	02.64		02.64	2.00	02	10.56
P int	S	0.86	2.20	01.89		01.89	2.00	02	07.56
Plaf				16.26		16.26	0.73	23	273.00
Pl bas				16.26		16.26	2.56	23	957.38
Puissance				Watt					K cal/h
$D_{S\ tot}$				2052.48					1765.23

Tableau 43 – Les déperditions par transmission linéique D_L dans la cuisine :

Nombre	L (m)	K_L	ΔT (°C)	D_L (watt)
01	4.33	0.09	23	08.96
01	3.86	0.09	23	08.00
03	3.00	0.13	23	26.91
02	3.00	0.09	02	01.08
02	3.00	0.07	02	00.84
Puissance		Watt		K cal/h
$D_{L\ tot}$		45.80		39.39

Tableau 44 – Les déperditions par renouvellement d'air D_R dans la cuisine :

Paroi	S (m ²)	H (m)	V_h (m ³)	Q_v ($\frac{m^3}{h}$)	Nmbr	P_0 (m ³ /h.m ²)	A (m ²)	e_{vi}	Q_S (m ² /h)	$Q_V + Q_S$	D_R
F ext	16.26	3.00	48.78	29.26	01	04	1.82	1.47	10.70	39.96	13.58
P int	16.26	3.00	48.78	29.26	01	06	1.89	1.47	16.66	45.92	15.61
P int	16.26	3.00	48.78	29.26	01	06	2.64	1.47	23.28	52.54	17.86
Puissance				Watt							K cal/h
$D_{R\ tot}$				47.05							40.46

Tableau 45 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans la cuisine :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	2145.33	1845.09
$P_{c\ tot}$	2788.94	2398.62

Tableau 49 – La Charge calorifique $Q_{c\ tot}$ et la puissance $P_{c\ tot}$ nécessaire dans le couloir :

-	Watt	K cal/h
$Q_{c\ tot}$	2553.10	2195.79
$P_{c\ tot}$	3319.03	2854.53

La puissance totale nécessaire pour chauffer toute l'habitation est 19 654.74 Watt = 20 kW

3.8 L'influence de l'isolation et de T_{ex} sur la puissance nécessaire de chauffage

Pour connaître l'influence de ces deux paramètres, On va refaire les calculs précédents avec d'autres différentes températures à extérieures (10, 5, 2, -5, et -10) °C, et avec d'autres isolations de l'habitation (faible, moyenne, et bonne)

On fixe la température interne consigne à 25°C.

- Pour un matériel de mauvaise isolation

$$\text{Si } T_{ex} = 10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 10 = 15^{\circ}\text{C}$$

Tableau 50 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	1910.7
Chambre Nord	1255.5
Chambre Nord Est	1231.2
Chambre Sud Est	1245.6
Chambre Sud	1258.2
Sanitaire	360
Cuisine	1463.4
Couloire	2250
Total	14 266.98

$$\text{Si } T_{ex} = 5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 5 = 20^{\circ}\text{C}$$

Tableau 51 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2547.6
Chambre Nord	1674
Chambre Nord Est	1641.6
Chambre Sud Est	1660.8
Chambre Sud	1677.6
Sanitaire	480
Cuisine	1951.2
Couloire	3000
Total	19 022.64

$$\text{Si } T_{ex} = 2^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 2 = 23^{\circ}\text{C}$$

Tableau 52 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = 2$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2929.74
Chambre Nord	1925.10
Chambre Nord Est	1887.84

Chambre Sud Est	1909.92
Chambre Sud	1929.24
Sanitaire	552
Cuisine	2243.88
Couloire	3450
Total	21 876.03

$$\text{Si } T_{ex} = -5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-5) = 30^{\circ}\text{C}$$

Tableau 53 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = -5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	3821.4
Chambre Nord	2511
Chambre Nord Est	2462.4
Chambre Sud Est	2491.2
Chambre Sud	2516.4
Sanitaire	720
Cuisine	2926.8
Couloire	4500
Total	28 533.95

$$\text{Si } T_{ex} = -10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-10) = 35^{\circ}\text{C}$$

Tableau 54 – La puissance nécessaire pour un matériel de mauvaise isolation et de $T_{ex} = -10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	4458.3
Chambre Nord	2929.5
Chambre Nord Est	2872.8
Chambre Sud Est	2906.4
Chambre Sud	2935.8
Sanitaire	840
Cuisine	3414.6
Couloire	5250
Total	33 289.62

Tableau 55 - des puissances en fonction de la température extérieure et isolation faible

T_{ex}	10°C	5°C	2°C	-5°C	-10°C
Puissance totale (Watt)	14 266.18	19 022.64	21 876.03	28 533.95	33 289.62

- Pour un matériel de moyenne isolation

$$\text{Si } T_{ex} = 10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 10 = 15^{\circ}\text{C}$$

Tableau 56 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	1528.56
Chambre Nord	1004.40
Chambre Nord Est	984.96
Chambre Sud Est	996.48
Chambre Sud	1006.56
Sanitaire	288
Cuisine	1170.72
Couloire	1800
Total	11 413.58

$$\text{Si } T_{ex} = 5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 5 = 20^{\circ}\text{C}$$

Tableau 57 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2038.08
Chambre Nord	1339.20
Chambre Nord Est	1313.28
Chambre Sud Est	1328.64
Chambre Sud	1342.08
Sanitaire	384
Cuisine	1560.96
Couloire	2400
Total	15 218.11

$$\text{Si } T_{ex} = 2^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 2 = 23^{\circ}\text{C}$$

Tableau 58 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = 2$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2343.79
Chambre Nord	1540.08
Chambre Nord Est	1510.27
Chambre Sud Est	1527.93
Chambre Sud	1543.39
Sanitaire	441.6
Cuisine	1795.10
Couloire	2760
Total	17 500.80

$$\text{Si } T_{ex} = -5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-5) = 30^{\circ}\text{C}$$

Tableau 59 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = -5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	3057.12
Chambre Nord	2008.80
Chambre Nord Est	1969.92
Chambre Sud Est	1992.96
Chambre Sud	2013.12
Sanitaire	576
Cuisine	2341.44
Couloire	3600
Total	12 2826.28

$$\text{Si } T_{ex} = -10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-10) = 35^{\circ}\text{C}$$

Tableau 60 – La puissance nécessaire pour un matériel de moyenne isolation et de $T_{ex} = -10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	3057.12
Chambre Nord	2343.60
Chambre Nord Est	2298.68
Chambre Sud Est	2325.12
Chambre Sud	2348.64
Sanitaire	672
Cuisine	2731.68
Couloire	4200
Total	25 969.89

Tableau 61 - des puissances en fonction de la température extérieure et isolation moyenne

T_{ex}	10°C	5°C	2°C	-5°C	-10°C
Puissance totale (Watt)	11 413.58	15 218.11	17 500.80	22 826.28	25 969.89

- Pour un matériel de bonne isolation

$$\text{Si } T_e = 10^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 10 = 15^\circ\text{C}$$

Tableau 62 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	1433.02
Chambre Nord	941.62
Chambre Nord Est	923.4
Chambre Sud Est	934.2
Chambre Sud	943.65
Sanitaire	270
Cuisine	1097.55
Couloire	1684.5
Total	10 700.22

$$\text{Si } T_{ex} = 5^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 5 = 20^\circ\text{C}$$

Tableau 63 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	1910.7
Chambre Nord	1255.5
Chambre Nord Est	1231.2
Chambre Sud Est	1245.6
Chambre Sud	1258.2
Sanitaire	360
Cuisine	1463.4
Couloire	2250
Total	14 266.98

$$\text{Si } T_{ex} = 2^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - 2 = 23^\circ\text{C}$$

Tableau 64 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = 2$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2197.30
Chambre Nord	1443.82
Chambre Nord Est	1415.88
Chambre Sud Est	1432.44
Chambre Sud	1446.93
Sanitaire	414
Cuisine	1682.91
Couloire	2587.5
Total	16 407.01

$$\text{Si } T_{ex} = -5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-5) = 30^{\circ}\text{C}$$

Tableau 65 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = -5$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	2866.05
Chambre Nord	1883.25
Chambre Nord Est	1846.8
Chambre Sud Est	1868.4
Chambre Sud	1887.3
Sanitaire	540
Cuisine	2195.1
Couloire	3375
Total	21 400.47

$$\text{Si } T_{ex} = -10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 25 - (-10) = 35^{\circ}\text{C}$$

Tableau 66 – La puissance nécessaire pour un matériel de bonne isolation et de $T_{ex} = -10$

Pièce	Puissance (Watt)
Salon	3343.72
Chambre Nord	2197.12
Chambre Nord Est	2154.6
Chambre Sud Est	2179.8
Chambre Sud	2201.85
Sanitaire	630
Cuisine	2560.95
Couloire	3937.5
Total	24 967.20

Tableau 67 - Des puissances en fonction de la température extérieure et bonne isolation

T_{ex}	10°C	5°C	2°C	-5°C	-10°C
Puissance totale (Watt)	10 700.22	14 266.98	16 407.01	21 400.47	24 967.20

D'après tous les tableaux on obtient le graph suivant (voir : Fig. 24)

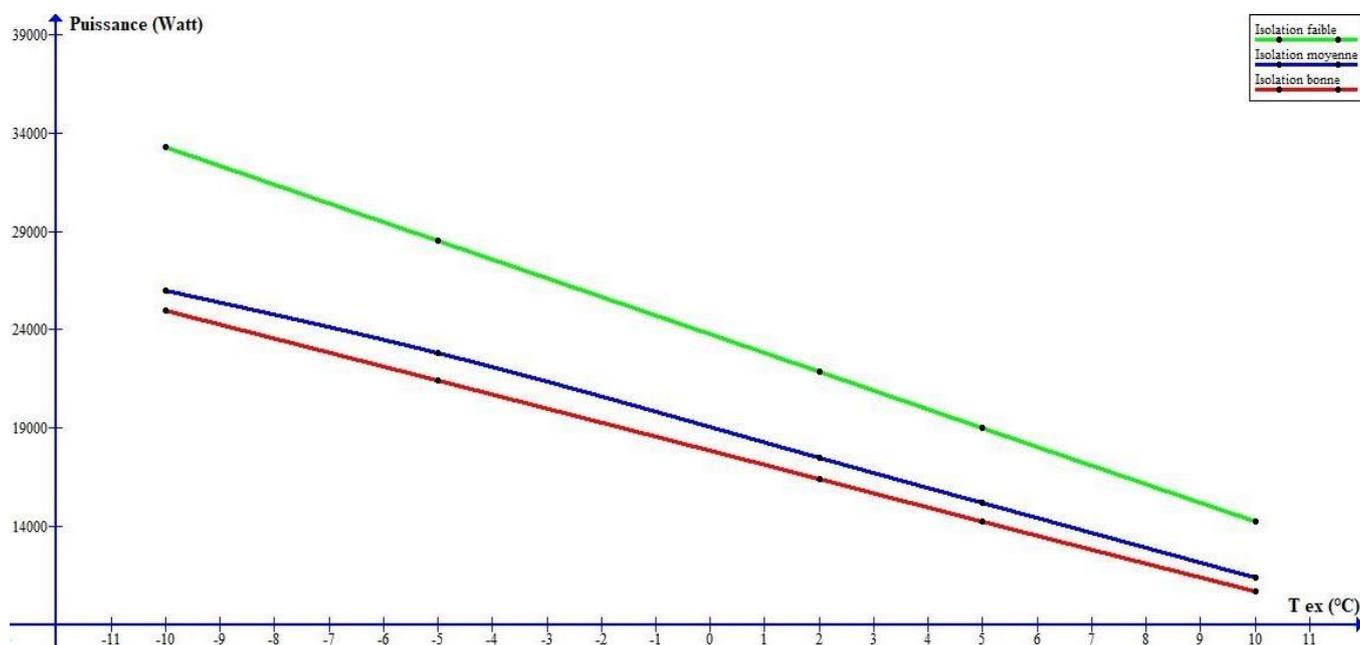


Fig. 24 – Variation de la puissance en fonction de T_{ex} et l'isolation

3.8.1 Remarques et Interprétation

D'après les tableaux et le graph on trouve que les besoins de chauffe (puissance) augmentent si la température extérieure chute et vice versa, car il nous faut 26 kW de puissance avec une température de -10°C et isolation moyenne et que 11.5 kW si T_{ex} arrive à 10°C et avec la même isolation, on trouve aussi les mêmes remarques pour les deux autres isolations si on compare la puissance nécessaire entre deux température extérieure avec la même isolation, donc T_{ex} influe sur la puissance car l'écart entre la température intérieure et extérieure ΔT change et ce dernier entre dans le calcul de l'équation de flux alors si ΔT est grand le besoin de puissance calorifique augmente et vice versa, donc la puissance est proportionnel avec ΔT .

Pour l'isolation la puissance nécessaire sera petite si l'habitation est bien isolée on est besoin de 24.9 kW de puissance avec $T_{ex} = -10^{\circ}\text{C}$ et elle augmente si l'isolation est faible où pour la même T_{ex} la puissance sera 33.2 kW cela est dû au transfert thermique (flux) qui grandisse et cause beaucoup de déperditions donc la puissance est proportionnel avec l'isolation.

Alors la puissance est influencer par ces deux paramètres, pour diminuer les besoin il faut bien isoler l'habitation.

3.9 Influence du rayonnement solaire sur la puissance de chauffe [34]

(Fig. 25), donne un aperçu des ordres de grandeurs des différentes puissances mises en jeu au sein d'un capteur solaire à savoir la puissance incidente, la puissance utile et la puissance perdue.

La puissance perdue est due aux déperditions du capteur à travers ses trois faces. On constate que notre capteur à un coefficient de déperdition relativement faible.

La puissance utile interceptée par le fluide caloporteur dépend fortement de l'éclairement solaire global incident sur la surface du collecteur.

De plus, le rendement instantané d'un capteur varie également avec la puissance utile, il en résulte que le rendement instantané est aussi fonction du rayonnement solaire.

Comme le montre la figure (26), une augmentation du rayonnement solaire conduit à un rendement plus élevé.

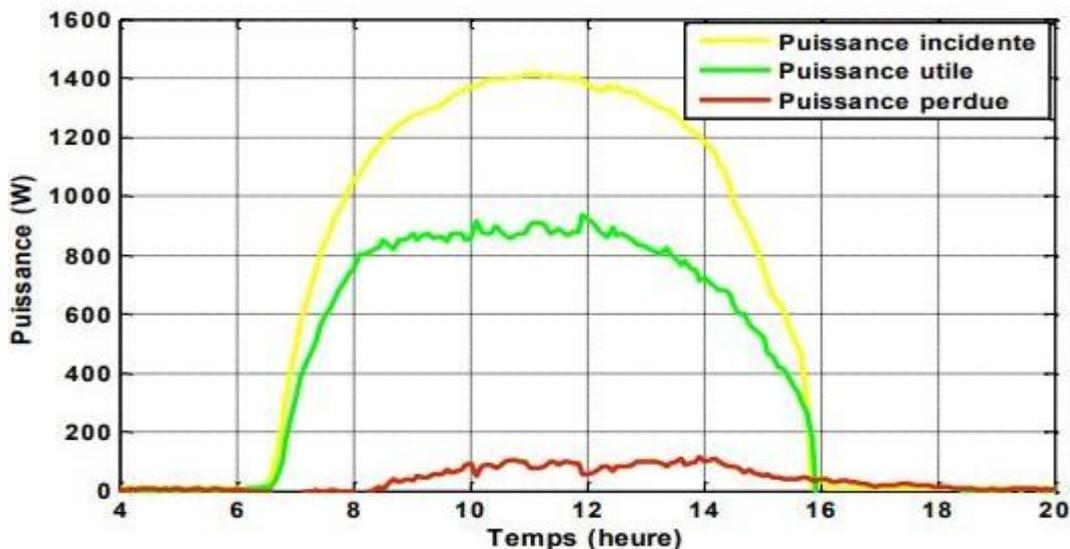


Fig. 25 - Variation temporelles des différentes puissances mises en jeu

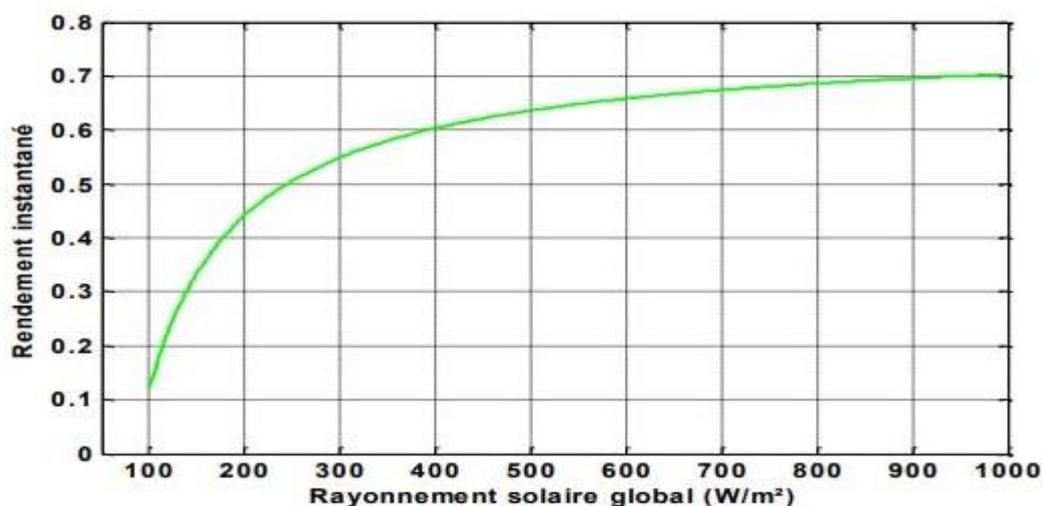


Fig. 26 - Variation du rendement instantané avec le rayonnement solaire

Il est clair que les besoins en chauffage ne sont pas en phase avec l'ensoleillement pendant l'hiver, et que l'énergie solaire disponible en été, dépasse largement les besoins d'eau chaude. Ainsi, le chauffage solaire et l'appoint doivent être conçus ensemble afin d'assurer le rendement global du système.

3.10 Calcul de la surface des capteurs

a) On utilisant des radiateurs

Selon (Norme NF P50-501)

$$P_{utile} = P_{absorbeur} - \text{pertes thermiques} \quad (19)$$

$$P_{absorbeur} = \beta \times \text{Irradiance} \quad (20)$$

" β " Le facteur optique, correspond au rapport entre le rayonnement solaire qui tape sur la surface vitrée du capteur (surface d'ouverture) et le rayonnement qui peut réellement être transformé en chaleur par l'absorbeur. Il est généralement donné par le fabricant.

Lorsque $\beta = 0,85$, seulement 85 % du rayonnement solaire réfléchi sur la vitre est réellement récupérable par l'absorbeur. Les pertes optiques sont donc de 15%.

$$\text{Pertes thermiques} = K \times (T_m - T_{ex}) \quad (21)$$

où T_m correspond à la température moyenne du capteur :

$$T_m = (T_e + T_s) / 2 \quad (22)$$

et T_{ex} à la température de l'air à l'extérieur du capteur

- **Irradiance**

D'après un travail réalisé par les professeurs Zebbar Djallel et Kherris Sahraoui sur Etude technico-économique d'un champ solaire de type stirling dish à Tissemsilt, ils ont estimé la valeur moyenne de la radiation solaire incidente sur la ville de Tissemsilt est de 1944 kWh/m² sur une durée annuelle de 2999 h. [35]

On résulte une moyenne irradiance

$$\text{Irradiance} = 1944 / 2999 = 0.648 \text{ kW/m}^2 \text{ et } = 648 \text{ W/m}^2$$

- Pour le capteur solaire (Roth F2)

Caractéristiques thermiques des capteurs solaires "Roth F2" (rapportées au m ² de superficie d'entrée)		
rendement optique, η_0 (sans dimension)		: 0,77
coefficient de perte	a_1 [W/m ² .K]	: 3,15
température conventionnelle de stagnation, T_{stg} [°C]		: 190

Fig. 27 – Caractéristiques du capteur solaire Roth F2 [36]

$$P_{\text{absorbeur}} = 0.77 * 648 = 500 \text{ W/m}^2$$

L'eau glycolée entre à 40°C dans le capteur pour en ressortir à 60°C.

$$T_m = (40 + 60) / 2 = 50$$

La température extérieure est 15°C

$$\text{Pertes thermiques} = 3.15 * (50 - 15) = 110.25 \text{ W/m}^2$$

$$P_{\text{utile}} = 500 - 110.25 = 389.75 \text{ W/m}^2$$

Alors pour produire la puissance nécessaire 20 000 W il nous faut

$$20\ 000 / 390 = 51.28 \text{ m}^2$$

- Pour les autres puissances calculées on trouve

Tableau 68 – Les surfaces nécessaire des capteurs pour toutes les puissances calculées

Isolation	T_{ex} (°C)	Puissance (Watt)	Surface des capteurs (m²)
Faible	10	14 266.18	36.57
	5	19 022.64	48.77
	2	21 876.03	56.09
	-5	28 533.95	73.16
	-10	33 289.62	85.35
Moyenne	10	11 413.58	29.26
	5	15 218.11	39.02
	2	17 500.80	44.87
	-5	22 826.28	58.52
	-10	25 969.89	66.58
Bonne	10	10 700.22	27.43
	5	14 266.98	36.58
	2	16 407.01	42.06
	-5	21 400.47	54.87
	-10	24 967.20	64.01

On remarque que la surface des capteurs est proportionnelle à la puissance demandée

b) Calcul de la surface des capteurs pour plancher bas

Calcul de la surface de captation pour le plancher solaire direct

Pour une surface chauffée de $A = 120 \text{ m}^2$, avec un niveau d'isolation moyen ($U = 2$).

Le ratio de captation (rapport surface de captation / surface d'échange) est pris entre 0.2 et 0.3.

$$S_{1 \text{ capteurs}} = 120 * 0.2 = 24 \text{ m}^2$$

$$S_{2 \text{ capteurs}} = 120 * 0.3 = 36 \text{ m}^2$$

Ce qui nous fait une surface de captation de 24 à 36 m²

3.11 Conclusion

Dans ce chapitre on est arrivé à définir la charge calorifique totale qui nous conduit à la détermination de la puissance de la chaudière correspondante à notre installation, et on a déterminé les paramètres qui influent sur la puissance et la surface des capteurs.

Chapitre 04

Dimensionnement du système de chauffage (Perte de charge)

4.1 Introduction

En chauffage et climatisation centralisés à eau le dimensionnement du réseau de tuyauterie tient une place très importante, en effet pour réaliser une bonne distribution d'eau, il faut que les conduites aient des dimensionnement appropriées pour pouvoir circuler les débits d'eau nécessaire afin d'alimenter les unités terminales (VC) au niveau de chaque local, pour se faire, il faudrait que les conduites d'eau soit tracées d'une manière à éviter le maximum de singularités (coudes, vannes...etc.), cela réduira ainsi les chutes de pression et par conséquent une perte d'énergie tout en évitant une mauvaise circulation d'eau qui est à l'origine de problème de déséquilibre de réseau. Le calcul de réseau consiste à faire un choix précis des diamètres des conduites ainsi que la qualité de ces derniers de façon à réaliser un compromis entre le bon fonctionnement de l'installation et son cout de revient.

4.2 Mode de distribution de l'eau

Dans les systèmes de chauffage la chaleur apportée par l'eau chaude utilise des réseaux de tuyauterie comme moyen de circulation vers les unités terminales au niveau des locaux.

On distingue deux modes de distributions de l'eau :

1. Circulation naturelle dite par gravité dont le bon fonctionnement exige une différence de niveau suffisante entre le générateur (chaudière ou groupe) et les locaux.
2. Circulation pulsée mécaniquement (à l'aide d'une pompe) utilisée pour des bâtiments comportant plusieurs locaux comme dans notre cas

4.3 Type de réseau de distribution

Le générateur de chaleur (chaudière) est posé au point le plus bas de l'installation par contre le groupe à eau glacée posé au niveau de la terrasse de premier étage. L'eau chaude ou glacée qui on provient et amenée au corps terminal (ventilo-convecteur ou radiateur) par des tubes verticaux (colonnes) et horizontaux (collecteurs) ensuite après son passage dans les unités terminales ,elle est ramenée par des colonnes descendante et un collecteur de retour jusqu'au générateur, au point le plus haut est branché un vase d'expansion, qui recueille l'excédent de volume du a la dilatation de l'eau et permet de chasser les poches d'air et de vapeur (dans le cas d'un chauffage) lors de la mise en régime et fait en même temps communiquer l'installation avec l'atmosphère pour éviter les suppressions.

4.4 Calcul des réseaux de la tuyauterie :

La chute de pression dans une section rectiligne de tuyau en fonction du diamètre d de la vitesse v ainsi que le coefficient de résistance λ il est nécessaire de deviser le réseau en plusieurs tronçons partiels à cause des différences de vitesses de circulation ainsi on pourra donc déterminer la chute de pression totale.

On distingue dans un tube rectiligne de section constante deux types de pertes de charges par frottement et perte de charge accidentelle.

4.4.1 Pertes de charge par frottements (linéaires) [37]

Lorsqu'un fluide s'écoule dans un tube rectiligne de section constante sa pression diminue uniformément le long de conduite ceci est dû aux frottements des particules de fluide sur les parois solides. Cette chute de pression se calcule le long d'un tronçon partiel ce dernier est une partie de réseau à vitesse de circulation et diamètre constants.

Les pertes de charge par frottements sont exprimées par l'équation suivante :

$$\Delta p_f = R' = \lambda * \rho * \frac{v^2}{2} * \frac{l}{d} \quad (23)$$

- Δp_f : perte de charge linéaire en P
- λ : coefficient de perte de charge (nombre sans dimension)
- ρ : masse volumique de l'eau en kg/m
- v : vitesse d'écoulement en m/s
- d : diamètre hydraulique de tube en m
- l : longueur du tube en m

4.4.2 Pertes de charge accidentelles (singulières)

Les résistances accidentelles ou singulières comportent tous les changements de directions, les dérivations, les robinets, les appareils de chauffe ainsi que tous les élargissements et les rétrécissements de la conduite. Elles sont proportionnelles à la pression dynamique, et sa formule et comme suite :

$$\Delta p_S = \sum \zeta * \frac{v^2}{2g} * \rho \quad (24)$$

4.5 Hauteur manométrique d'une installation [38]

Puisque on a des pertes de pression le long du parcours de l'eau dans les tuyauteries, et l'eau a besoin de pression à la sortie de la chaudière pour pouvoir circuler dans l'installation. Cette pression sera donnée, soit par la différence de poids volumique entre les colonnes d'eau chaude et d'eau froide (thermosiphon), soit par une pompe de circulation. Cette pression motrice est également donnée en mmCE, on l'appelle hauteur manométrique de l'installation.

Et puisque nous avons des pertes de pression compensées par une pression motrice, il faut que, pour chacun des circuits (radiateurs), la hauteur manométrique soit égale à la somme des pertes de charge linéaire et singulières.

Ce qui nous donne

$$H = \Delta p_f + \Delta p_s = \lambda * \rho * \frac{v^2}{2} * \frac{l}{d} + \sum \zeta * \frac{v^2}{2g} * \rho \quad (25)$$

4.6 Débit d'eau dans l'installation

Pour calculer les débits d'eau à partir de la puissance de chaque local on utilise la formule suivante :

$$p_{ui} = q_v * c * \Delta T \quad (26)$$

Tel que

- p_{ui} : La puissance (Wh/h)
- q_v : Débit d'eau (l/h)
- c : Chaleur massique de l'eau ($c = 1,16 \text{ Wh/l}^\circ\text{K}$)

Donc l'équation est déduite comme suite

$$q_v = \frac{p_{ui}}{c * \Delta T} \quad (27)$$

Afin de tenir compte des déperditions dans les tuyauteries et pour faciliter les calculs, nous prendrons :

$$q_v = p_{ui} / \Delta T \quad (28)$$

4.6.1 Calcul des débits

Tableau 69 – Les débits nécessaire de toutes les pièces

Les locaux	La puissance (Watt)	Le débit (l/h)
Salon	3634.10	121.13
Chambre Nord	2217.10	73.90
Chambre Nord West	2420.60	80.68
Chambre Sud West	2454.24	81.80
Chambre Sud	2081.26	69.37
Cuisine	2788.94	92.96
Sanitaire	739.47	24.64
Couloire	3319.03	110.63

4.7 Calcul des pertes de charge

Pour commencer on a ajouté un schéma de principe pour tous le système de chauffage, on a divisé le réseau sur deux conduites A et B pour la circulation d'eau chaude et A' et B' pour l'eau froide (voir Fig. 23)

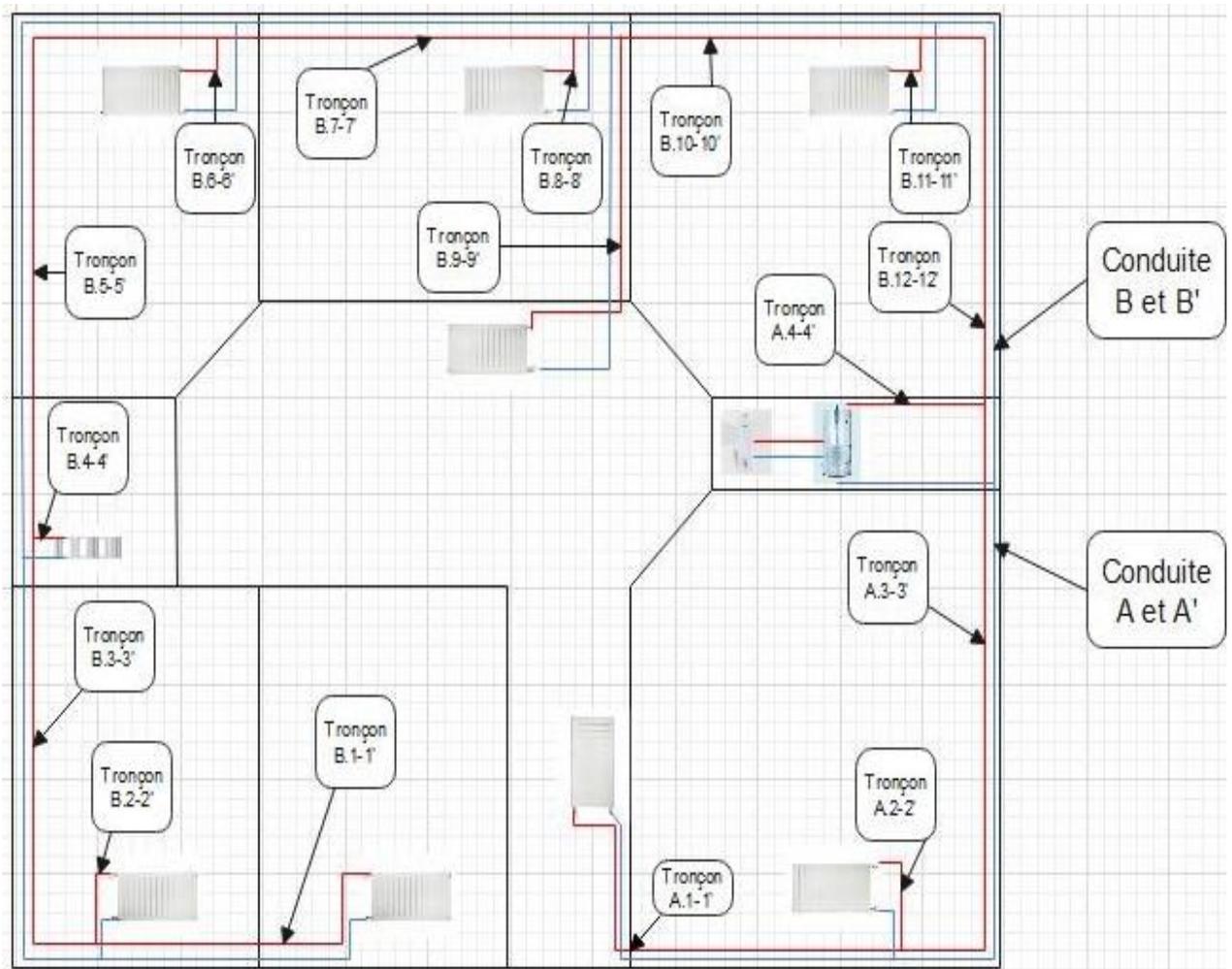


Fig. 28 – Les conduites des eaux chaudes et froides

Pour les applications usuelles dans les installations de chauffage et de sanitaire, nous pouvons utiliser les formules pratiques suivantes : [39]

$$\Delta p_f = R * L \quad (29)$$

$$\text{Eau à } 15^\circ\text{C} \quad - \quad R = (557 * Q^{1,87}) / d^{5,04} \quad (30)$$

$$\text{Eau à } 80^\circ\text{C} \quad - \quad R = (417 * Q^{1,885}) / d^{5,014} \quad (31)$$

- R : en (mmCE/m) pertes de charge par frottements linéaire dans un mètre 1m
- Δp_f : en (mmCE) pertes de charge par frottements linéaire dans le long de tuyau
- Q : en (l/h) le débit
- d : en (mm) le diamètre

D'après les Annexes on trouve les pertes de charge dans les tableaux suivants.

4.7.1 Tableau de perte de charge pour l'eau chaude

Conduite (A) voir (Fig. 27)

Tableau 70 – Les pertes de charge d'eau chaude dans la conduite (A)

Tronçon	Q (l/h)	d (mm)	v (m/s)	L (m)	R	Δp_f	$\frac{v^2}{2g} * \rho$	$\sum \zeta$	Δp_s	H
A.1-1'	55.31	16	0.14	4	0.73	2.92	0.97	10	9.7	12.62
A.2-2'	121.13	16	0.31	1	3.22	3.23	4.71	8.5	40.03	43.26
A.3-3'	176.44	16	0.47	7	6.52	45.65	10.98	2.5	27.45	73.09
A.4-4'	655.11	25	0.71	1	8.31	8.31	24.28	6.5	157.82	166.13

Conduite (B)

Tableau 71 – Les pertes de charge d'eau chaude dans la conduite (B)

Tronçon	Q (l/h)	d (mm)	v (m/s)	L (m)	R	Δp_f	$\frac{v^2}{2g} * \rho$	$\sum \zeta$	Δp_s	H
B.1-1'	69.37	16	0.18	5	1.13	5.65	1.61	10	16.1	21.75
B.2-2'	81.8	16	0.21	1	1.54	1.54	2.18	8.5	18.53	20.07
B.3-3'	151.18	16	0.40	5	4.90	24.54	7.93	2.5	19.82	44.36
B.4-4'	24.64	16	0.06	1	0.16	0.16	0.18	8.5	1.53	1.69
B.5-5'	175.82	16	0.45	9	6.52	58.73	10.02	2.5	25.05	83.78
B.6-6'	80.68	16	0.21	1	1.50	1.50	2.18	8.5	18.53	20.03
B.7-7'	256.5	16	0.66	5	13.29	66.5	21.58	2.5	53.95	120.45
B.8-8'	73.90	16	0.19	1	1.27	1.27	1.79	8.5	15.21	16.48
B.9-9'	55.31	16	0.14	4	0.73	2.92	0.97	2.5	2.42	5.34
B.10-10'	385.71	20	0.61	3.63	9.2	33.42	18.22	11.5	209.5	242.95
B.11-11'	92.96	16	0.24	1	1.96	1.96	2.85	8.5	24.22	26.16
B.12-12'	478.67	25	0.51	4.88	4.59	22.44	12.98	2.5	32.45	54.89

4.7.2 Tableau de perte de charge pour l'eau froide

Conduite (A')

Tableau 72 – Les pertes de charge d'eau froide dans la conduite (A')

Tronçon	Q (l/h)	d (mm)	v (m/s)	L (m)	R	Δp_f	$\frac{v^2}{2g} * \rho$	$\sum \zeta$	Δp_s	H
A.1-1'	55.31	20	0.08	3.5	0.28	0.98	0.32	5.5	1.76	2.74
A.2-2'	121.13	20	0.16	0.5	1.21	0.6	1.27	4	5.08	5.68
A.3-3'	176.44	20	0.24	7	2.45	17.17	2.85	2.5	7.12	24.29
A.4-4'	655.11	25	0.55	1	9.26	9.26	15.98	5.5	87.89	97.15

Conduite (B')

Tableau 73 – Les pertes de charge d'eau froide dans la conduite (B')

Tronçon	Q (l/h)	d (mm)	v (m/s)	L (m)	R	Δp_f	$\frac{v^2}{2g} * \rho$	$\sum \zeta$	Δp_s	H
B.1-1'	69.37	20	0.10	4.5	0.43	1.94	0.5	5.5	2.75	4.69
B.2-2'	81.8	20	0.11	0.5	0.58	0.29	0.6	4	2.4	2.69
B.3-3'	151.18	20	0.19	5	1.83	9.18	1.79	2.5	4.47	13.65
B.4-4'	24.64	20	0.022	0.5	0.06	0.03	0.02	4	0.08	0.11
B.5-5'	175.82	20	0.24	9	2.83	21.93	2.85	2.5	7.12	29.05
B.6-6'	80.68	20	0.11	0.5	0.56	0.28	0.6	4	2.4	2.68
B.7-7'	256.5	20	0.34	5	5.11	25.58	5.73	2.5	14.32	39.9
B.8-8'	73.90	20	0.10	0.5	0.48	0.24	0.5	4	2	2.24
B.9-9'	55.31	20	0.08	3.5	0.28	0.98	0.32	2.5	0.8	1.78
B.10-10'	385.71	20	0.49	3.63	10.59	38.44	11.9	5.5	65.45	103.89
B.11-11'	92.96	20	0.125	0.5	0.74	0.37	0.77	4	3.08	3.45
B.12-12'	478.67	20	0.645	4.88	15.86	77.40	20.29	2.5	50.72	128.12

4.8 Equilibrage des ventilo-convecteurs [33]

L'équilibrage des ventilo-convecteurs consiste à doser le débit d'eau dans chaque ventilo-convecteur lorsque le robinet est grand ouvert, s'il n'y avait pas la possibilité de procéder à cet équilibrage, certains ventilo-convecteurs recevrait trop d'eau et ce serait au détriment de ceux qui ne recevant pas assez, pour les premiers il y a gaspillage d'énergie et pour les autres, insuffisance de chauffage ou de refroidissement.

En général, les ventilo-convecteurs proches des pompes de circulation reçoivent trop d'eau, ce sont ceux pour lesquels il faut créer les plus fortes pertes de charge. Le mauvais équilibrage d'une certaine énergie, est l'origine de nombreux problèmes qui non seulement coutent chers à résoudre mais dont la solution n'est jamais définitive.

Pour résoudre ces divers problèmes, on place des vannes de réglages pour chaque conduite et qui permettent le réglage précis de débits.

Pour connaître la perte de charge d'un organe d'équilibrage on doit :

1. Calculer les pertes de charge totales de chaque conduite, depuis le point situé en amont de la dérivation jusqu'à la branche la plus éloignée.
2. Comparer ces pertes de charge totales.

3. Calculer pour chaque conduite, la différence de sa perte de charge avec celle de la conduite la plus défavorisée.

Cette différence représente la perte de charge de son organe d'équilibrage.

4.8.1 Tableau d'équilibrage des conduites d'eau chaude

Tableau 74 - Equilibrage des conduites d'eau chaude

Conduite	Diamètre (mm)	Perte de charge totale (mmCE)	Perte de charge à créer (mmCE)
A	25	295.1	362.85
B	25	657.95	-

4.8.2 Tableau d'équilibrage des conduites d'eau froide

Tableau 75 - Equilibrage des conduites d'eau froide

Conduite	Diamètre (mm)	Perte de charge totale (mmCE)	Perte de charge à créer (mmCE)
A'	25	129.86	202.39
B'	20	332.25	-

Equivalence des diamètres extérieurs aux diamètres nominale

Circuit chaud (annexe C)

Circuit froid (annexe D)

4.8.3 Perte de charge dans la colonne montante pour l'eau chaude et froide

Tableau 76 - Perte de charge dans la colonne montante pour l'eau chaude et froide

Tronçon	Q	d	v	L	R	Δp_f	$\frac{v^2}{2g} * \rho$	$\sum \zeta$	Δp_s	H
	(l/h)	(mm)	(m/s)	(m)						
Eau chaude	655.11	16	1.7	3.5	77.88	272.58	143.17	4.5	644.26	916.84
Eau froide'	655.11	20	0.87	3.5	28.52	99.82	37.53	3.5	131.37	231.19

4.9 Stockage [40]

L'intérêt d'un système de stockage est de compenser le déphasage entre la production d'énergie venant de la source et la demande en énergie. Dans notre cas, la source d'énergie est le soleil dont nous pouvons recevoir l'énergie thermique le jour et plus particulièrement les jours de beau temps. À contrario, la demande en chauffage d'une habitation est en général plus haute la nuit et les jours de mauvais temps. En effet, nous pourrions considérer l'enveloppe de notre bâtiment

comme un collecteur plus ou moins efficace selon son isolation, son inertie, ses surfaces vitrées... Les jours de beau temps, le bâtiment profite donc des apports solaires qui contribuent donc à réduire ses besoins résiduels.

Le stockage d'énergie fonctionne par cycle dans lequel nous pouvons observer trois phases

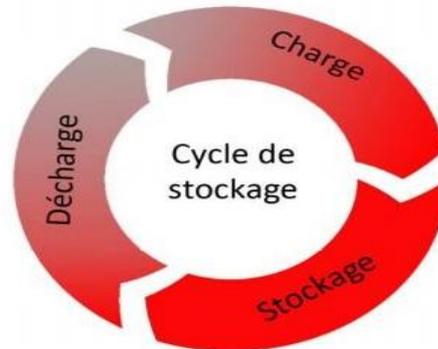


Fig. 29 – Cycle de stockage d'énergie

- La charge. Cette phase correspond au moment où la source produit de l'énergie et que le milieu de stockage n'est pas saturé en énergie.
- Le stockage. Cette phase correspond au moment où le dispositif de stockage ne reçoit plus d'énergie venant de la source (soit car la source n'émet plus, soit car le système de stockage est plein) et que le bâtiment ne demande pas d'énergie du système de stockage.
- La décharge. Cette phase correspond au moment où, afin de satisfaire ses besoins en énergie, le bâtiment puise dans le système de stockage.

Nous pouvons recenser trois types de stockage d'énergie thermique, actuellement :

- Le stockage sensible.

Il s'agit du type de stockage le plus basique : le principe est de faire monter la température du matériau de stockage, de le conserver à cette température (en minimisant les pertes) puis de récupérer la chaleur par simple transfert de chaleur. Le stockage sensible est le stockage le plus commun et une large gamme de matériaux « low-cost » ont déjà été étudiés. Les grandeurs caractéristiques d'un matériau de stockage sensible sont sa masse volumique ρ et sa capacité thermique massique C_p .

- Le stockage latent

Le stockage latent consiste à utiliser le changement d'état d'un matériau pour stocker l'énergie. La grandeur caractéristique du stockage latent est l'enthalpie de changement d'état que l'on notera Δ_{MCE} (MCE = matériau changement d'état). La différence Δ_{MCE} étant la plus part du temps fortement supérieure à c (environ 100 à 200 fois plus grand), le stockage latent permet de stocker une quantité d'énergie bien plus importante que le stockage sensible. Cependant le stockage latent implique également des difficultés techniques supplémentaires (encapsulation des matériaux, variation de volume et de pression...) qui, couplées au prix des matériaux, rendent cette solution moins accessible

économiquement que le stockage sensible pour de petites installations comme le chauffage d'une habitation.

- Le stockage thermochimique

Le stockage thermochimique se base sur la notion de réaction endothermique et exothermique. Ainsi le principe est de chauffer des réactifs ayant une réaction endothermique, la réaction a donc lieu et l'énergie est stockée. La réaction doit être réversible afin de pouvoir, par la suite, provoquer la réaction inverse (exothermique cette fois-ci) permettant donc de récupérer l'énergie stockée. La grandeur caractéristique du stockage thermochimique est l'enthalpie de réaction. Cette grandeur est environ 100 fois plus grande que l'enthalpie de changement d'état (Tian & Zhao, 2012). Bien que cette solution présente des résultats prometteurs en termes de capacité de stockage, elle reste (encore plus que le stockage latent) difficilement abordable économiquement pour de petites installations, du fait de sa complexité technique et du prix des matériaux utilisés.

4.9.1 Fluide caloporteur et matériaux de stockage

Un stockage utilisant le fluide caloporteur comme matériau de stockage est appelé système de stockage direct ; ces systèmes de stockage sont le plus souvent appliqués au stockage de chaleur sensible.

Utiliser un autre matériau que le fluide caloporteur comme matériau de stockage. Ce type de stockage est appelé stockage indirect. Cela permet donc de sélectionner le matériau de stockage en fonction des caractéristiques que l'on souhaite mettre en avant comme une solution plus économique (matériau de stockage sensible) ou plus compacte (matériau de stockage latent).

Notre étude s'intéresse à un système de stockage d'énergie en vue d'alimenter une habitation unifamiliale, Nous choisissons donc de développer davantage le sujet du stockage sensible

$$Q = V * C * (T_f - T_i) \quad (32)$$

Avec :

- Q : l'énergie stockée
- V : le volume de matériau de stockage
- C : la capacité thermique volumique du matériau de stockage
- T_i et T_f : les températures initiale et finale du matériau de stockage

$$C = \rho * C_p \quad (33)$$

C s'exprime en $J.m^{-3}.K^{-1}$. Une capacité thermique volumique $C=100$ signifie qu'un mètre cube de matériau qui subit une augmentation de température de 1K stocke 100J.

L'énergie emmagasinée lors d'un stockage de chaleur sensible est donc donné par la formule :

$$Q = 0.4 * (971.8 * 4,186) * (20) \Rightarrow Q = 32.543 \text{ kW}$$

Le ballon de stockage soit suffisamment isolé thermiquement afin de limiter les pertes calorifiques journalières Q_{max} en kWh/jour.

Selon la norme EN 12997-1, pour les systèmes solaires,

$$Q_{max} = U_a \times 45 \times 24 / 1000 \text{ [kWh/jour]} \quad (34)$$

$$U_a \leq 0,16 \times V^{0,5} \text{ [W/K]} \quad (35)$$

$$C_r = 24 \times U_a / V \text{ [Wh/K.l]} \quad (36)$$

V = volume interne du ballon en litres

C_r = coefficient de refroidissement

$$Q_{max} = (0,16 \times V^{0,5}) \times 45 \times 24 / 1000 \Rightarrow Q_{max} = 1,09 \text{ kWh/jour}$$

$$C_r = 24 \times (0,16 \times V^{0,5}) / V \Rightarrow C_r = 6,07 \text{ Wh/K.l}$$

Généralement le volume de la cuve est limité, de l'ordre de 1000 litres

Pour une installation type, 10 à 12 panneaux de 2 m², 1000 litres de stockage en cuve tampon, un chauffe-eau 300 litres (soit 150 litres de volume de confort chauffé par l'énergie d'appoint en cas de mauvais temps). Donc en tout 1300 litres pour 20 à 24 m² (optez pour un nombre pair de panneaux, plus facile à installer).

- Récapitulatif des éléments calculés

Tableau 77 – Récapitulatif des éléments calculés

N° ou position	Surface (m ²)	Puissance (Watt)	Tuyauterie						Radiateur (kW)	Surface des capteurs solaire (m ²)	Capacité du ballon de stockage (l)	
			Débit (l/h)	Longueur (m)		Diamètre (mm)		Capacité (l)				
				aller	retour	aller	retour	aller				retour
Salon	21.23	3634.1	121.13	10.39	9.89	16	20	0.20	0.31	4	24 à 36 pour planche r bas ou 50 pour chauffa ge par radiateu r	1000 à 1300
Chambre nord	13.95	2217.1	73.90	8.85	8.35	16	20	0.17	0.26	3		
Chambre Nord West	13.84	2420.6	80.68	8.61	8.11	16	20	0.17	0.25	3		
Chambre Sud West	13.68	2454.24	81.80	8.5	8	16	20	0.17	0.25	3		
Chambre Sud	13.98	2081.26	69.37	2.79	2.29	16	20	0.05	0.07	3		
Sanitaire	4.00	739.47	92.96	2.5	2.5	16	20	0.05	0.08	1		
Cuisine	16.26	2788.94	24.64	9.12	8.62	16 & 20 & 25	20	0.35	0.27	3		
Couloire	25.00	3319.03	110.63	3.5	1.5	16	20	0.07	0.04	2*2		
Débarras	3.00	-		2	2	16 & 25	20 & 25	0.07	0.08	-		
totale	120	19654.74		56.26	51.26	-	-	1.3	1.61	-		

4.10 Analyse et comportement d'un système de chauffage

Nous allons présenter les étapes pour analyser le système de chauffage avant d'étudier son comportement dans le temps puis d'étudier un système plus évolué en complétant l'environnement.

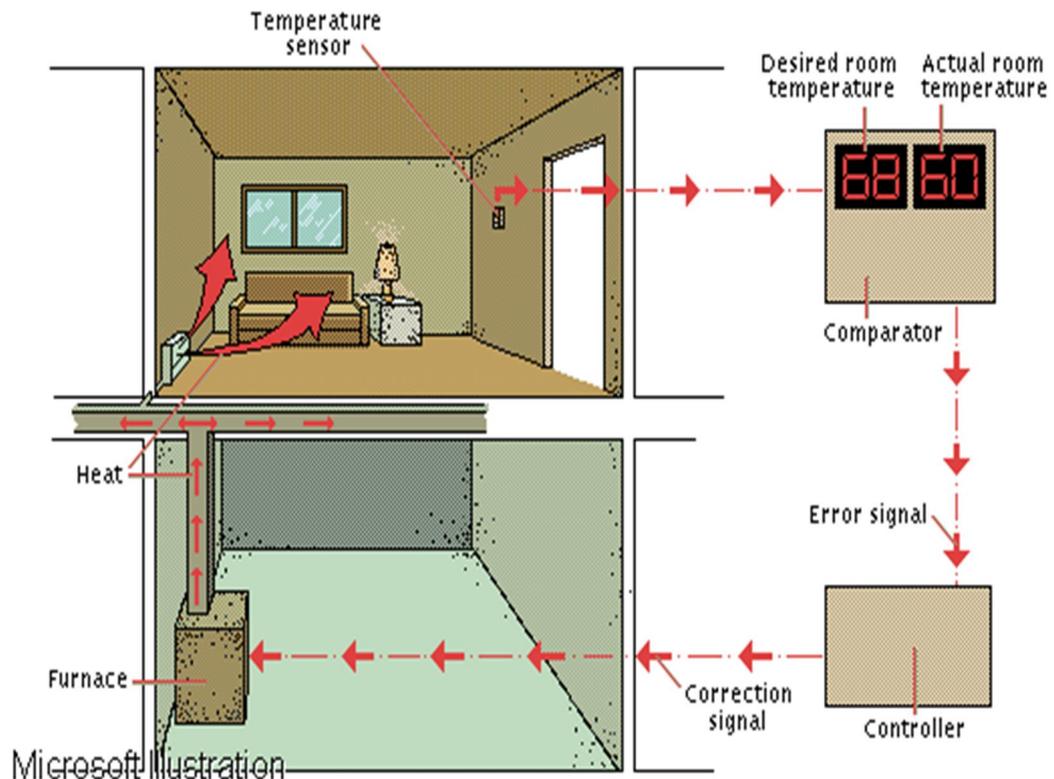


Fig. 30 – Contrôleur de température [41]

4.10.1 Analyse du système [41]

Nous appliquons les principes méthodologiques d'analyse des systèmes.

Le système analysé est un chauffage central utilisant les capteurs solaires + une chaudière à gaz.....

4.10.1.1 Phase 1 : Première approche

Objectif : Maintenir la température (intérieure) d'une habitation à une valeur donnée

Environnement 1 :

- Intérieur de l'habitation.
- Habitants

Analyse fonctionnelle :

- Chauffer l'air ambiant
- Chauffer le fluide porteur
- Transporter le fluide porteur
- Commander le système

Analyse organique :

- Radiateurs
- Tuyaux d'eau chaude
- Chaudière
- Système de commande

Analyse des interactions

- Fourniture de chaleur à la surface des radiateurs ... et des tuyaux.
- Interaction habitation/radiateurs
- Interaction habitation/tuyaux

Échange de chaleur flamme-eau dans la chaudière.

- Interaction chaudière/tuyaux

Fixation de la consigne

- Interaction habitant/Système de commande

Mesure de la température ambiante

- Interaction habitation/système de commande

4.10.1.2 ; Phase 2 : Analyse du système de commande

Objectif : Commander la chaudière en fonction de l'écart entre la température T et la consigne T_c

Analyse fonctionnelle :

- Mesurer la température ambiante T
- Calculer l'écart entre T et la consigne T_c
- Si $(T - T_c) > 0$, mettre en marche la chaudière.

Analyse organique :

- « Thermostat »
- Connexion électrique thermostat-chaudière
- Commande d'ouverture de la vanne de gaz

Analyse des interactions :

- Capture de la température ambiante T
- Interaction capteur/air ambiant
- Interaction Thermostat/Circuit électrique (fermeture contact)
- Interaction circuit électrique/vanne gaz (électrovanne)

4.10.1.3 Comportement - Évolution temporelle.

Entrées-Sorties

Les entrées-sorties du système correspondent aux interactions avec l'environnement. L'analyse de ces interactions peut nous amener à affiner l'analyse statique.

Entrées :

- Fixation de la consigne T_c
- Capture de la température ambiante T

Sortie :

- Fourniture de chaleur à la surface des radiateurs ... et des tuyaux

Note 1 : Une observation plus attentive du système fait apparaître une autre entrée, l'alimentation en gaz et une autre sortie, l'émission de gaz résiduels de combustion. La prise en compte de ces interactions conduit à détailler la fonction « chauffer le fluide porteur » ou le composant « chaudière », analyse que nous avons omise pour simplifier l'étude (principe d'Opacité, précepte d'Agrégativité).

Note 2 : Une des fonctions du système de commande est le calcul de l'écart ($T - T_c$), l'objectif étant de réduire cet écart en faisant fonctionner la chaudière tant que cet écart est positif. La chaudière fournissant de l'énergie thermique, nous devons ajouter la fonction « physique » qui relie chaleur et température. Cette fonction semble s'exécuter dans l'environnement mais elle doit être intégrée dans le système de commande.

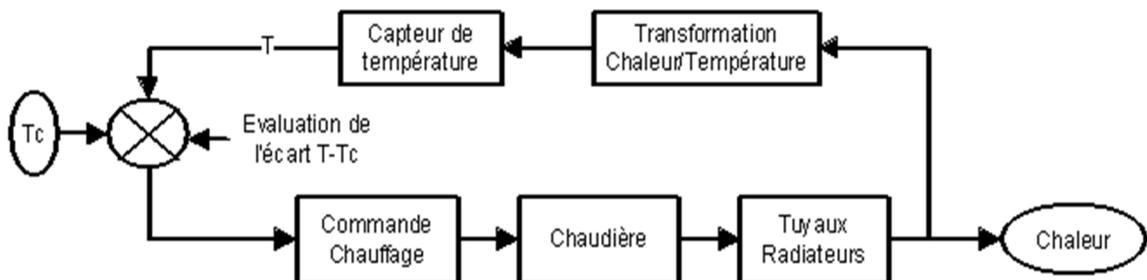


Fig. 31 – schéma de régulation 1 [41]

4.10.1.4 Observation du comportement du système

Après démarrage de la chaudière, l'eau est chauffée et circule dans les tuyaux et les radiateurs. L'eau chaude cède de la chaleur à l'air ambiant dont la température s'élève. Le chauffage de l'eau et l'échange de température dans les radiateurs et les tuyaux se fait avec une certaine inertie ; La température ambiante s'élève lentement. Lorsqu'elle atteint la consigne, la chaudière est arrêtée mais l'eau chauffée continue de céder de la chaleur à l'air, la température ambiante pouvant alors dépasser la consigne avant de redescendre. L'inertie et les retards dans le système font que la température peut descendre de manière significative au-dessous de la consigne.

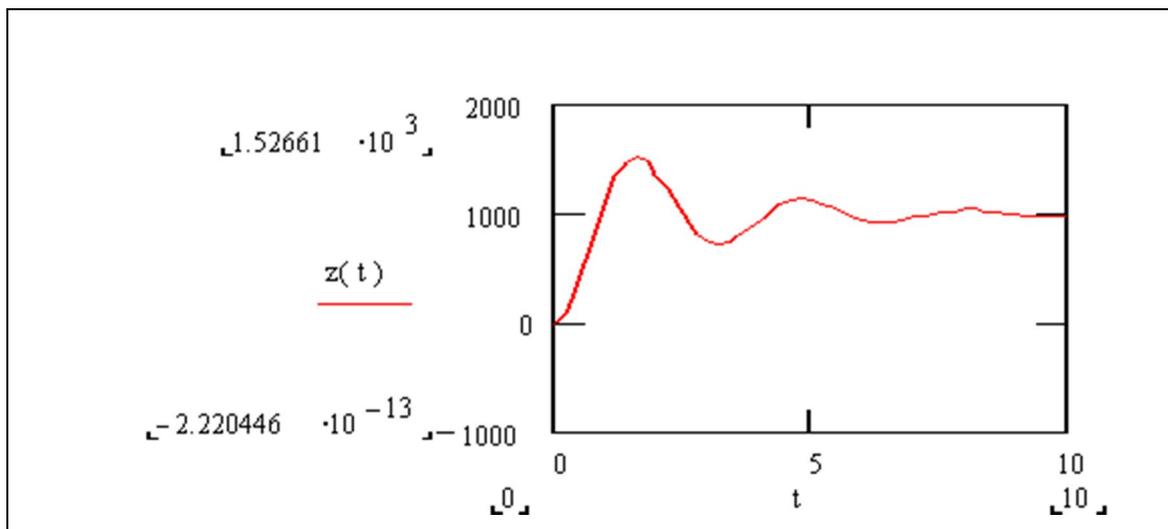


Fig. 32 – Lecture sur le comportement du système [41]

4.10.1.5 Rétroaction négative (feedback)

Le système peut être modélisé par une chaîne directe chargée de fournir de la chaleur à l'air ambiant et une chaîne « en retour », dite contre-réaction qui maintient le système en équilibre thermique autour de la température de consigne.

Cette contre-réaction est aussi dite rétroaction négative car elle agit en sens inverse de l'évolution naturelle de la température, provoquant son élévation lorsqu'elle tend à descendre.

De telles boucles de rétroaction sont généralement observées dans les systèmes qui doivent rester en équilibre. Ce système satisfait ainsi à plusieurs principes de la systémique (et de la cybernétique)

- Principe de causalité circulaire avec rétroaction négative,
- Théorème de la prédominance du feedback
- Principe d'homéostasie

4.10.1.6 Extension de l'environnement à l'extérieur de l'habitation

Comme c'est très souvent le cas dans les systèmes de chauffage central, nous n'avons considéré comme environnement que l'intérieur de l'habitation. Cependant, si la température ambiante dans l'habitation descend, c'est qu'il y a transfert de chaleur vers l'extérieur, si sa température extérieure est plus basse que la température intérieure.

La température intérieure chute d'autant plus vite que l'écart ($T - T_e$) est élevé. Cependant étant donné l'isolation due aux murs et aux portes et fenêtres, la chute de température intérieure peut être plus lente que la baisse extérieure. Nous pouvons utiliser cette propriété pour anticiper la baisse de température et améliorer le système.

4.10.2 Analyse du système modifié

Environnement 2 :

- Environnement 1 (habitation+habitants)
- Extérieur de l'habitation

Analyse fonctionnelle du système de commande :

- Mesurer la température ambiante T
- Calculer l'écart entre T et la consigne T_c
- Si $(T - T_c) > 0$, mettre en marche la chaudière.
- Mesurer la température extérieure T_e
- Analyser la variation de température extérieure ΔT_e

Analyse organique :

- Radiateurs
- Tuyaux d'eau chaude
- Chaudière
- Système de commande
- Capteur de température extérieure
- Calculateur de commande

Analyse des interactions

- Capture de la température ambiante T
- Interaction capteur/air ambiant
- Interaction Thermostat/Circuit électrique (fermeture contact)
- Interaction circuit électrique/vanne gaz (électrovanne)
- Capture de température extérieure
- Action sur la commande de chauffage

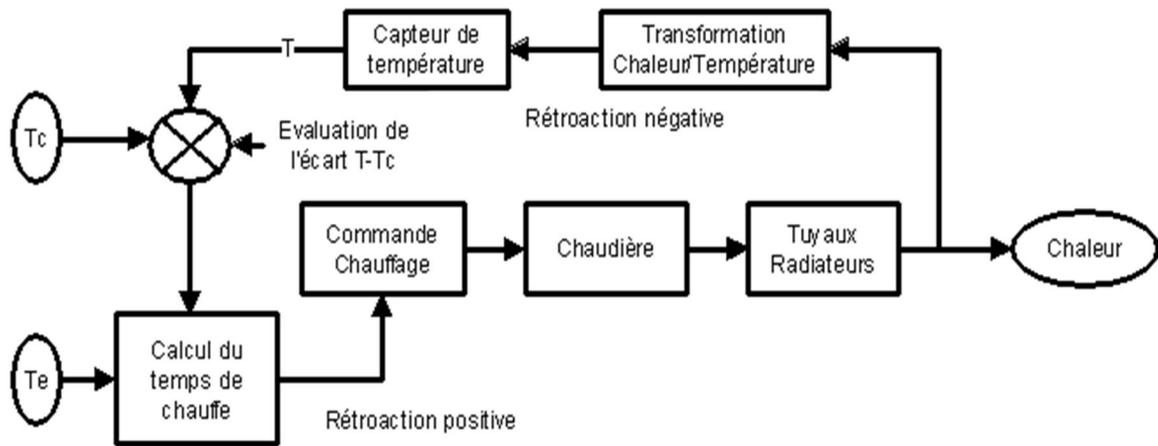


Fig. 33 – schéma de régulation 2 [41]

4.10.2.1 Comportement

Lors de la baisse de température extérieure, le nouveau capteur permet d'anticiper et d'évaluer la baisse de température ambiante. La chaudière est alors commandée plus tôt et le temps de chauffe peut être calculé.

Ce système est donc plus complexe mais doit avoir un fonctionnement plus rapide.

4.10.2.2 Commande par anticipation (feedforward)

Cette commande par anticipation tend à chauffer l'habitation même si la température ambiante dépasse la consigne, et sans un calcul qui tient compte des caractéristiques de l'environnement, ici le transfert de chaleur entre intérieur et extérieur de l'habitation, il n'est pas possible de savoir quand arrêter le chauffage. Celui-ci pourrait donc devenir excessif et la chaudière pourrait non seulement surchauffer l'habitation et chauffer inutilement le monde extérieur.

Elle a donc un comportement voisin des systèmes de rétroaction positive. Le dispositif ajouté doit donc tenir compte du « Principe de causalité circulaire avec rétroaction positive ».

4.11 Conclusion

Dans ce chapitre on a pris en considération les pertes de charge singulières et linéaires ainsi que la perte de charge de certaines unités terminales et la capacité de stockage, ce qui nous conduira à dimensionner les équipements nécessaires pour notre installation, et afin de pouvoir analyser le système de chauffage on a cité les étapes qu'il faut pour l'analyse ainsi les schémas de régulation.

Conclusion générale

Au cours de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'intérêt de l'exploitation de l'énergie solaire et l'efficacité des installations solaires thermiques individuelles en Algérie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire et pour le chauffage.

Après l'installation d'un système de chauffage hybride solaire-gaz on a calculé les déperditions thermiques et la puissance nécessaire pour chauffer l'habitation, le chauffage solaire nous offre jusqu'à 60% de puissance donc il faut un système d'appoint pour compenser les besoins.

La puissance est influencer par plusieurs paramètres (la température consigne, la température extérieure, l'isolation, la surface ou le volume à chauffer).donc pour diminuer la consommation il faut bien traiter ces paramètres surtout l'isolation pour limiter les déperditions d'énergie, la surface des capteurs solaire est définie selon les besoins d'énergie.

Pour que l'installation arrive à nous donner la puissance nécessaire on a calculé les pertes de charge dans les tuyauteries et les débits qu'il faut aux radiateurs pour produire cette puissance.

L'étude que nous venons de présenter, nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur les systèmes solaires, et précisément les chauffe-eau solaires, qui fonctionnent selon un principe simple et efficace, consistant à convertir les rayons électromagnétique du soleil, en une énergie calorifique qui serait transmise à un fluide caloporteur (eau) et ce, pour des besoins domestiques.

En fin ce travail nous a permis d'acquérir une certaine expérience, qui peut être bénéfiques sur le plan pratique et surtout dans la méthodologie à suivre pour une étude correcte d'un projet et nous espérons que ce travail donnera au consommateur, une idée sur l'importance du chauffage solaire et nous souhaitons que les futures promotions le trouvent utile et efficace.

Proposition et amélioration

On peut améliorer le système en augmentant le volume de stockage d'énergie on utilisant double ballon de stockage et on fait une bonne l'isolation aux murs et aux portes et fenêtres pour conserver la chaleur et limiter les déperditions. Il faut aussi utiliser des capteurs qui possèdent d'une bonne isolation pour transmettre la majorité de l'énergie captée, ainsi on peut changer le fluide caloporteur par des fluides qui transporte beaucoup d'énergie mieux que l'eau.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Domoderme, 2021, Etat de l'art et des technique, site : <http://domoderme.com/etat-de-lart-et-des-techniques/>
- [2] Messaoudi Laid, Fonction et classification des installations de chauffage. Site : <http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/messaoudi-laid/files/me131.pdf>
- [3] Calculeo, 2021, le chauffage pour votre maison, site : <https://www.calculeo.fr/eco-travaux/le-chauffage>.
- [4] Izi By edf, 2021, Comparatif des principaux systèmes de chauffage, site : <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/comparaison-systemes-de-chauffage>
- [5] LE GUIDE DU CHAUFFAGE, 2021, Les hybrides, site : <https://www.leguideduchauffage.com/les-hybrides.html>
- [6] Ma maison éco confort, 15/12/2018, le chauffage hybride, site : <https://ma-maison-eco-confort.atlantic.fr/le-chauffage-hybride-cest-quoi/>
- [7] Choisir, 2008-2021, LA CHAUDIÈRE HYBRIDE : UNE SOLUTION DE CHAUFFAGE PERFORMANTE ET ÉCONOME EN ÉNERGIE, site : <https://www.choisir.com/energie/articles/123434/la-chaudiere-hybride-une-solution-de-chauffage-performante-et-econome-en-energie>
- [8] Weather Spark, 2021, site : <https://fr.weatherspark.com/y/45821/M%C3%A9t%C3%A9o-habituelle-%C3%A0-Tissemsilt-Alg%C3%A9rie>
- [9] Futura-sciences, 2021 Dimensionnement d'installations à capteurs solaires. Site : <https://forums.futura-sciences.com/suisse/energie>
- [10] Mr Reddah Takieddine, 15/02/2015, Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné, mémoire
- [11] Guillaume Anies, 28 Novembre 2011, Modélisation, simulation dynamique, validation expérimentale et optimisation énergétique d'une unité de rafraîchissement solaire par absorption, thèse doctorat,
- [12] Solarpedia, 20 janvier 2015, Capteur solaire plan, site : http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan
- [13] BOURAGBI Lakhdar, 2008, Etude et amélioration du rendement de la conversion photothermique du capteur solaire, MEMOIRE
- [14] Guide bâtiment durable, 21/01/2016, Possibilités de montage des capteurs, site : <https://www.guidibatimentdurable.brussels/fr/possibilites-de-montage-des-capteurs.html?IDC=10127>
- [15] David Blandin, 2010, Modélisation et validation expérimentale de nouveaux concepts de ballons solaires à forte stratification, Présentée thèse de doctorale : Mécanique, Énergétique, Génie civil.
- [16] Mr. Tissot, 13/09/2012, 2ième édition, L'énergie solaire thermique et photovoltaïque
- [17] Guide Technique Le chauffe-eau solaire individuel.
- [18] Benmehdi Rachid, 17/04/2013, Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation, mémoire
- [19] Mr. Raisul Islam, K. Sumathy, S. Ullah Khan, 2013, Solar water heating systems and their market trends, Renew. Sust. Energ. Rev.) 1–25. Chauffe-eau solair.
- [20] Yves Jannot, 2007, Thermique solaire. Paris.
- [21] ECO info énergie renouvelable, 2021, Fonctionnement du chauffe-eau solaire, site : <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/chauffe-eau-solaire/fonctionnement-chauffe-eau-solaire/>
- [22] Ooreka maison, 2021, Chauffe-eau solaire à pompe électrique, site : <https://chauffe-eau.ooreka.fr/astuce/voir/746639/chauffe-eau-solaire-a-pompe-electrique>
- [23] Low-Tech lab, 2017, Chauffe-eau solaire à thermosiphon, site : https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Chauffe-eau_solaire_%C3%A0_thermosiphon
- [24] Forum construire, 2021, Le chauffe-eau solaire (monobloc, à éléments séparés, à éléments séparés en circulation forcée), site : <https://www.forumconstruire.com/guides/guide-choisir-chauffe-eau/chauffe-eau-solaire-monobloc-elements-separes.php>
- [25] TECNOVAC, 2021, Le Chauffe-Eau Solaire, site : <https://tecnovac.fr/chauffe-eau-solaire/>

- [26] BOUACHA KHALED, 2015/2016, INSTALLATION CHAUFFAGE SOLAIRE D'UN BATIMENT, mémoire
- [27] Heliophoros, 2016, Le Système Solaire Combiné, site : <https://heliophoros.com/systeme-solaire-combine>
- [28] ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT, 2021, Guide des logiciels de gestion énergétique, site : <https://atee.fr/system/files/2021-03/Guide%20des%20logiciels%20de%20gestion%20%C3%A9nerg%C3%A9tique.pdf>
- [29] CLAUDE-ALAIN ROULET, 1987 ; Energétique du bâtiment, presses polytechniques romandes, CH.1015. Lausanne.
- [30] Mr CHIOUKH Menouar, 2015/2016, Etude et dimensionnement d'une installation de chauffage et de climatisation d'une crèche située à Tizi-Ouzou. Mémoire
- [31] H.RIETSCHER et W.RAÏSSA, 1968, Dunod. Traité de chauffage et de climatisation.
- [32] Ministère de l'habitat. 10/12/1997, Alger, document technique réglementaire (D T R).
- [33] P.ISELT et U. ARNDT, 1996, Manuel de l'humidification de l'air, grundlagen der luftbefeuchtung.
- [34] Aghilas Brahim, 28/06/2018, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau. HAL Id: hal-01825548 <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01825548>
- [35] D. Zebbar, S. Kherris, N. Mohamed Chérif et B. Ghabi, 30/06/2015, Etude technico-économique d'un champ solaire de type stirling dish à Tissemsilt.
- [36] Roth France, 2021, capteur solaire, site : <http://www.roth-france.fr/fr/2105.htm>
- [37] ThermExcel, 2021, site : https://www.thermexcel.com/french/ressourc/chauffage_eau_chaude_surchauffee.htm
- [38] Pierre Dessers ingénierie thermique, 2021, coordination sécurité technologie chauffage : perte de charge ; calculs et dimensionnements. <https://www.econologie.com/fichiers/partager3/13172900930rmSDs.pdf>
- [39] Département BTP, 2021, les pertes de charge, site : <http://www.vft47.fr/medias/files/pertes-de-charge.pdf>
- [40] Gatellier, Baptiste, 25/01/2019, Etude d'un système de stockage d'énergie solaire thermique répondant aux besoins en chauffage d'une habitation unifamiliale, mémoire, site : <http://hdl.handle.net/2268.2/6293>
- [41] Gerard.beuchot, 2021, Analyse et comportement d'un système bouclé : Chauffage central d'une habitation, site : http://gerard.beuchot.free.fr/Recherche/Systemique/initiation_a_la_systemique_6.htm?fbclid=IwAR2T9liR70aY2d9iee3zDJ3YpmnYWRFfczQs8XeZhvscucZG_RC6fsyPZJs

Annexes

\dot{V}	D mm		16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	125,0	160,0	200,0	250,0	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,01 Vs	0,60 l/min	R	0,18	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,02 Vs	1,20 l/min	R	0,59	0,21	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,10	0,12	0,08	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,03 Vs	1,80 l/min	R	1,19	0,43	0,16	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,26	0,18	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,04 Vs	2,40 l/min	R	1,97	0,70	0,24	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,38	0,26	0,16	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,06 Vs	3,00 l/min	R	2,91	1,04	0,36	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,47	0,31	0,20	0,12	0,08	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,06 Vs	3,60 l/min	R	4,02	1,43	0,49	0,15	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,67	0,37	0,24	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,07 Vs	4,20 l/min	R	5,28	1,87	0,64	0,19	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,66	0,43	0,26	0,17	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,08 Vs	4,80 l/min	R	6,70	2,37	0,81	0,24	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,76	0,49	0,31	0,19	0,12	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,09 Vs	5,40 l/min	R	8,27	2,92	1,00	0,30	0,10	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,86	0,56	0,36	0,21	0,14	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,10 Vs	6,00 l/min	R	10,00	3,52	1,20	0,36	0,12	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,95	0,61	0,39	0,24	0,15	0,10	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,12 Vs	7,20 l/min	R	13,86	4,87	1,66	0,49	0,17	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,14	0,74	0,47	0,28	0,18	0,12	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,14 Vs	9,60 l/min	R	22,39	8,16	2,77	0,82	0,28	0,10	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,51	0,96	0,63	0,38	0,24	0,16	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,18 Vs	10,8 l/min	R	28,99	10,10	3,43	1,01	0,36	0,12	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,70	1,11	0,71	0,43	0,27	0,17	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
0,20 Vs	12,0 l/min	R	36,16	12,22	4,14	1,20	0,42	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,89	1,23	0,79	0,47	0,30	0,19	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
0,30 Vs	18,0 l/min	R	74,30	26,60	8,60	2,51	0,86	0,30	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	2,84	1,64	1,18	0,71	0,45	0,29	0,18	0,13	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01
0,40 Vs	24,0 l/min	R	127,07	43,49	14,53	4,22	1,43	0,49	0,16	0,07	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	3,76	2,46	1,57	0,95	0,61	0,39	0,24	0,17	0,12	0,08	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02
0,60 Vs	30,0 l/min	R	193,33	66,82	21,88	6,33	2,14	0,73	0,24	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	4,73	3,07	1,96	1,18	0,76	0,49	0,30	0,22	0,15	0,10	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02
0,60 Vs	36,0 l/min	R	272,98	92,54	30,64	8,82	2,98	1,00	0,33	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	5,66	3,66	2,36	1,42	0,91	0,58	0,36	0,26	0,16	0,13	0,09	0,06	0,04	0,04	0,02
			V = Débit (l/s)				R = Perte de charge (mbar/m)				v = Vitesse (m/s)						

(Perte de charge pour le chaud)

V	D mm	D mm	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	125,0	160,0	200,0	250,0	
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,01 Vs	0,60 l/min	R	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,02 Vs	1,20 l/min	R	0,17	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,19	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03 Vs	1,80 l/min	R	0,34	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,15	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04 Vs	2,40 l/min	R	0,54	0,18	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,19	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06 Vs	3,00 l/min	R	0,77	0,27	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,24	0,15	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,08 Vs	3,60 l/min	R	1,08	0,37	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,29	0,18	0,11	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
0,07 Vs	4,20 l/min	R	1,41	0,48	0,15	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,34	0,21	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,08 Vs	4,80 l/min	R	1,78	0,60	0,18	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,39	0,24	0,15	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,09 Vs	5,40 l/min	R	2,17	0,73	0,22	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,44	0,26	0,17	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,10 Vs	6,00 l/min	R	2,61	0,86	0,27	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,49	0,31	0,19	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,12 Vs	7,20 l/min	R	3,58	1,20	0,37	0,13	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,58	0,37	0,22	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
0,16 Vs	9,60 l/min	R	5,91	1,97	0,60	0,21	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,75	0,49	0,30	0,19	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
0,18 Vs	10,8 l/min	R	7,26	2,42	0,74	0,26	0,09	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,87	0,55	0,33	0,22	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,20 Vs	12,0 l/min	R	8,74	2,91	0,89	0,31	0,11	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	0,97	0,61	0,37	0,24	0,15	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,30 Vs	18,0 l/min	R	17,89	5,92	1,79	0,63	0,22	0,07	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,46	0,82	0,56	0,36	0,23	0,14	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
0,40 Vs	24,0 l/min	R	29,88	9,88	2,97	1,05	0,35	0,12	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	1,94	1,22	0,74	0,48	0,31	0,19	0,14	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01
0,60 Vs	36,0 l/min	R	44,59	14,65	4,41	1,55	0,53	0,18	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	2,45	1,53	0,93	0,60	0,38	0,24	0,17	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
0,60 Vs	36,0 l/min	R	61,95	20,29	6,09	2,14	0,73	0,24	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	2,91	1,84	1,11	0,72	0,46	0,29	0,20	0,14	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02
0,70 Vs	42,0 l/min	R	81,91	26,76	8,01	2,81	0,96	0,32	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	3,41	2,12	1,30	0,84	0,52	0,32	0,23	0,16	0,11	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02
0,80 Vs	48,0 l/min	R	104,43	34,03	10,15	3,55	1,22	0,40	0,17	0,07	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
		v	3,88	2,45	1,48	0,95	0,61	0,39	0,27	0,19	0,13	0,10	0,06	0,04	0,04	0,03

V: Débit (l/s)

R: Perte de charge (mbar/m)

v: Vitesse (m/s)

(Perte de charge pour le froid)

Annexe C

Caractéristiques du tubes			Diamètre	Epaisseur	Passage interne	Capacité en eau	Poids	
Art.-No.	Diamètre ext.	LG	d mm	s mm	d _i mm	l/m	kg/m	DN
10006	16 mm ⁹	100	16	2,7	10,6	0,088	0,110	10
10008	20 mm	100	20	3,4	13,2	0,137	0,172	12
10010	25 mm	100	25	4,2	16,6	0,216	0,266	15
10012	32 mm	40	32	5,4	21,2	0,353	0,434	20
10014	40 mm	40	40	6,7	26,6	0,555	0,671	25
10016	50 mm	20	50	8,3	33,4	0,876	1,040	32
10018	63 mm	20	63	10,5	42,0	1,385	1,650	40
10020	75 mm	20	75	12,5	50,0	1,963	2,340	50
10022	90 mm	12	90	15,0	60,0	2,826	3,360	60
10024	110 mm	8	110	18,3	73,4	4,229	5,010	65
* Les articles suivants sont disponibles en rouleaux:								
10106*	16 mm	100	16	2,7	10,6	0,088	0,110	10
10108*	20 mm	100	20	3,4	13,2	0,137	0,172	12
10110*	25 mm	100	25	4,2	16,6	0,216	0,266	15

(Circuit chaud)

Annexe D

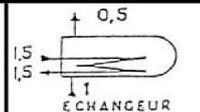
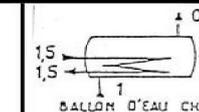
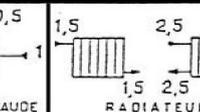
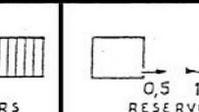
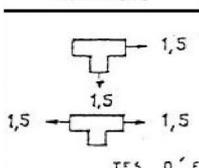
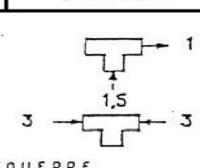
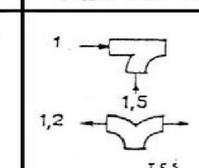
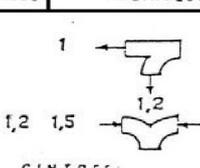
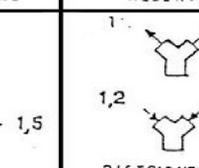
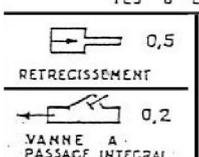
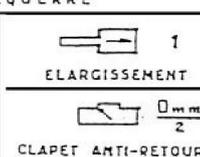
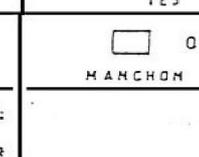
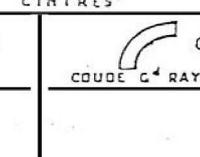
Caractéristiques du tube				Diamètre	Epaisseur	Passage interne	Capacité en eau	Poids	
Art.-No.	SDR	Diamètre ext.	LG	d mm	s mm	d _i mm	l/m	kg/m	DN
2010208	11	20 mm	100	20	1,9	16,2	0,206	0,107	15
2010210	11	25 mm	100	25	2,3	20,4	0,327	0,164	20
2010212	11	32 mm	40	32	2,9	26,2	0,539	0,261	25
2010214	11	40 mm	40	40	3,7	32,6	0,834	0,412	32
2010216	11	50 mm	20	50	4,6	40,8	1,307	0,638	40
2010218	11	63 mm	20	63	5,8	51,4	2,074	1,010	50
2010220	11	75 mm	20	75	6,8	61,4	2,959	1,410	65
2010222	11	90 mm	12	90	8,2	73,6	4,252	2,030	80
2010224	11	110 mm	8	110	10,0	90,0	6,359	3,010	80
2010226	11	125 mm	4	125	11,4	102,2	8,199	3,910	100
Les articles suivants sont disponibles en rouleaux:									
2010308	11	20 mm	100	20	1,9	16,2	0,206	0,107	15
2010310	11	25 mm	100	25	2,3	20,4	0,327	0,164	20

(Circuit froid)

V m/s	$\frac{\gamma V^2}{2g}$ mm d'eau	V m/s	$\frac{\gamma V^2}{2g}$ mm d'eau
0,050	0,12	0,46	10,48
0,055	0,15	0,48	11,41
0,060	0,18	0,50	12,39
0,065	0,21	0,52	13,40
0,070	0,24	0,54	14,45
0,075	0,28	0,56	15,54
0,080	0,32	0,58	16,67
0,085	0,36	0,60	17,83
0,090	0,40	0,62	19,04
0,100	0,50	0,64	20,29
0,105	0,55	0,66	21,58
0,110	0,60	0,68	22,91
0,115	0,66	0,70	24,28
0,120	0,71	0,75	27,87
0,125	0,77	0,80	31,71
0,130	0,84	0,85	35,79
0,135	0,90	0,90	40,13
0,140	0,97	0,95	44,71
0,145	1,04	1,00	49,54
0,150	1,11	1,05	54,62
0,160	1,27	1,10	59,94
0,170	1,43	1,15	65,62
0,180	1,61	1,20	71,34
0,190	1,79	1,25	77,41
0,20	1,98	1,30	83,72
0,21	2,18	1,35	90,29
0,22	2,40	1,40	97,1
0,23	2,62	1,45	104,16
0,24	2,85	1,50	111,47
0,25	3,10	1,55	119,02
0,26	3,35	1,60	126,83
0,27	3,61	1,65	134,88
0,28	3,88	1,70	143,17
0,29	4,17	1,75	151,72
0,30	4,46	1,80	160,51
0,32	5,07	1,85	169,56
0,34	5,73	1,90	178,84
0,36	6,42	1,95	188,38
0,38	7,15	2,00	198,17
0,40	7,93	2,1	218,48
0,42	8,74	2,2	239,78
0,44	9,59	2,3	262,07

(Valeur de $\gamma v^2/2g$ pour l'eau à 80°C

$$\gamma = \rho = 972 \text{ kg/m}^3$$

 CHAUDIÈRE 1,5	 ECHANGEUR 0,5	 BALLON D'EAU CHAUDE 1,5	 RADIATEURS 1,5	 RESERVOIRS 0,5
 TES D'EGUERRE 1,5	 TES CINTRES 1,5	 RETRECISSEMENT 0,5	 ELARGISSEMENT 1	 MANCHON 0
 VANNE A PASSAGE INTEGRAL 0,2	 CLAPET ANTI-RETOUR 0,2 mm	 COUDE 90° RAYON 0,5	 DOUBLE COUDE 0,5	

(Tableau de détermination de dzêta ζ)

Annexe G

D mm			CUIVRE	8	10	12	14	16	20 25	30 32	36	40	50	> 50
	→		ACIER		8	12		15	21	26	33	40	50	> 50
COUDE D'ÉQUERRE		90°		1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,3
		45°		1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2
COUDE ARRONDI		90°		2	2	1,5	1,5	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,5
		45°		1,3	1,3	1	1	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3
VANNE PAPILLON		OUVERTE		1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
ROBINET VANNE				1,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
ROBINET À SOUPAPE		→		16	16	15	14	14	12	10	8	6		
		↘		10	10	9	8	8	7	6	5	4		
ROBINET À DOUBLE REGLAGE		→	à boisseau		4			4	3	2	2			
		→	à soupape ou pointeau			14		14	12	10	8			
		↘	à boisseau			7		7	6	4	4			
		↘	à soupape ou pointeau			9		7	7	5	5			
COUDE DE REGLAGE					9		8	7						
TE DE REGLAGE					15		14	12						

(Tableau de détermination de dzêta ζ)

Annexe H

Chaudière : $\zeta = 2$
 Radiateur : $\zeta = 3$
 Coude à grand rayon $\zeta = 0,5$

Pièces en T

Désignation	Diamètre						
	10 3/8	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/4	40 1 1/2	50 > 2
Robinet d'équerre à double réglage	6	6	6	5	5	4	4
Coude à 90° du commerce	2,5	2	2	1,5	1,5	1	1
Coude à 90° large	2	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
Coude à 180° large	2,5	2,5	2	2	1	1	1

(Tableau de détermination de dzêta ζ)

DESIGNATION	10 3/8"	15 1/2"	20 3/4"	25 1"	32 1 1/4"	40 1 1/2"	≥ 50 ≥ 2"	SYMBLES
vanne radiateur équerre	4	3	2	2	2	2	-	
vanne radiateur passage direct	9	9	8	8	7	6	5	
vanne à passage direct (sièges parallèles)	10	10	7	7	5	5	4	
vanne à passage direct (sièges obliques)	3,5	3,5	3	3	2,5	2,5	2	
vanne à opercule	1,5	1	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	
vanne papillon	4	3,5	2	2	1,5	1,5	1	
clapet anti-retour	Environ 40							
courbe à 90°	2	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5	
courbe à 180°	2,5	2,5	2	2	1	1	1	
coude à 90° équerre	2,5	2	1,5	1,5	1	1	1	
chaudière ou échangeur			2,5					
radiateur			3					
réservoir d'oil enveloppe	sortie 0,5				entrée 1			
changement de section			0,5				1	

(Tableau de détermination de dzêta ζ)

Résumé

Pour assurer le confort thermique dans une habitation de 120 m² on a étudié et dimensionné une installation de chauffage afin de calculer la puissance calorifique nécessaire, pour les conditions climatique de la région du Wancharisse.

Le système de chauffage utilise l'énergie solaire et le gaz naturel afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz brulés, après les calculs de puissance on a estimé la surface des capteurs, ainsi on a dimensionné les réseaux de la tuyauterie de cette installation et sa capacité de stockage.

On a proposé des solutions pour stocker l'énergie et d'autres solutions d'isolation afin de limiter les pertes thermique pour rendre le système plus efficace.

Mots clé : Chauffage solaire / Surface des capteurs / Déperdition thermique / Stockage / Isolation

Abstract

To ensure thermal comfort in a house of 120 m², a heating installation has been studied and sized in order to calculate the calorific power required, , for the climatic conditions of the Wancharisse region.

The heating system uses solar energy and natural gas in order to reduce energy expenditure and emissions of burnt gases, after the power calculations we have estimated the surface area of the sensors, so we dimensioned the piping networks of this installation and storage capacity

Solutions for storing energy and other insulation solutions have been proposed to limit heat loss to make the system more efficient.

Key words : Solar heating / Surface area of the sensors / Heat loss / Storage / Insulation

المخلص

لضمان الراحة الحرارية في منزل مساحته 120 مترًا مربعًا، تمت دراسة تركيب التدفئة وتحديد أبعادها من أجل حساب الطاقة الحرارية المطلوبة للظروف المناخية في منطقة الونشريس.

يستخدم نظام التدفئة الطاقة الشمسية والغاز الطبيعي من أجل تقليل إنفاق الطاقة وانبعاثات الغازات المحترقة، بعد حسابات الطاقة التي قمنا بتقدير المساحة السطحية لأجهزة الاستشعار، لذلك قمنا بتحديد أبعاد شبكات الأنابيب لهذا التركيب وسعة التخزين.

تم اقتراح حلول لتخزين الطاقة وحلول العزل الأخرى للحد من فقد الحرارة لجعل النظام أكثر كفاءة.

الكلمات المفتاحية: التسخين الشمسي / مساحة أجهزة الاستشعار / فقدان الحرارة / التخزين / العزل