

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Génie Mécanique

Option : Systèmes Energétiques et Développement Durable

Réf :

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

Thème

Etude des apports énergétiques d'un local

Présenté par :

Aymen BADA

Proposé et dirigé par :

Pr. Nouredine MOUMMI

Devant le jury composé de :

Pr. Abdelhafid BRIMA

Professeur

Président

Pr. Nouredine MOUMMI

Professeur

Rapporteur

Mr. Abdelouhad ALIOUALI

Maitre-assistant 'A'

Examineur

Promotion : Juin 2017

Dédicace

Je dédie ce travail

À mon père

À ma mère

À ma sœur

À ma cousine Nihad

À ma grande famille

À tous mes amis et collègues

À tous mes enseignants depuis mes premières années d'études

À chaque personne qui m'a aidé.

Remerciements

Je dois tout d'abord remercier Dieu, pour m'avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.

Ce travail a été réalisé sous la direction du Monsieur Nouredine MOUMMI, Professeur à l'Universitaire de Biskra, à qui j'exprime mes vifs remerciements pour avoir accepté, d'assurer la direction et l'encadrement de mon mémoire.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres du jury.

Je remercie également tous les membres de ma famille et particulièrement mon père qui m'a été d'un grand secours durant la préparation de cette thèse.

Finalement, Je remercie également tous les enseignants de département de génie mécanique de l'Université de Biskra.

Sommaire

| | |
|------------------------------|------------|
| Dédicace | I |
| Remerciements | II |
| Sommaire | III |
| Liste des figures | VII |
| Liste des tableaux | IX |
| Introduction générale | 1 |

Chapitre I

Technologies et principes du confort thermique

| | |
|--|-----------|
| 1. Le confort thermique | 4 |
| 1.1. La notion de confort thermique | 4 |
| 1.2. Les paramètres affectant le confort thermique | 5 |
| 1.2.1. La température de l'air | 5 |
| 1.2.2. L'humidité relative de l'air | 7 |
| 1.2.3. La vitesse de l'air | 8 |
| 1.2.4. Le métabolisme | 8 |
| 1.2.5. Habillement | 8 |
| 1.2.6. Paramètres liés aux gains thermiques internes | 9 |
| 2. Les déperditions thermiques | 10 |
| 2.1. Type de déperditions thermiques | 10 |
| 2.1.1. Les déperditions surfaciques | 11 |
| 2.1.1.1. Les murs | 11 |
| 2.1.1.2. Les fenêtres et les portes | 11 |
| 2.1.1.3. Le sol | 12 |
| 2.1.2. Les ponts thermiques | 13 |
| 2.1.3. Les Déperditions par renouvellement de l'air | 14 |
| 3. Le chauffage | 15 |
| 3.1. Principes de chauffage | 16 |
| 3.1.1. Classement des systèmes de chauffage | 16 |
| 3.1.2. Chauffage individuel | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.3. Chauffage central | 16 |
| 3.1.4. Avantages et inconvénients | 17 |
| 4. La pompe à chaleur (PAC) | 18 |
| 4.1. Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur | 18 |
| 4.2. Cycles de fonctionnement d'une PAC | 19 |
| 5. Les systèmes solaires thermiques | 20 |
| 5.1. Les systèmes de production d'eau chaude sanitaire | 21 |
| 5.1.1. Chauffe-eau individuels | 21 |
| 5.1.1.1. Chauffe-eau sans réservoir | 21 |
| 5.1.1.2. Le chauffe-eau solaire thermosiphon | 21 |
| 5.1.1.3. Le chauffe-eau solaire à circulation forcée | 23 |
| 5.1.1.4. Le chauffe-eau solaire auto-vidangeable à circulation forcée | 23 |
| 5.1.1.5. Recours au chauffage d'appoint | 24 |
| 5.1.2. Chauffe-eau solaire pour une grande consommation (pour les bâtiments collectifs) | 25 |
| 5.2. Les systèmes de chauffage solaire des bâtiments | 27 |
| 5.2.1. Le Plancher Solaire Direct | 27 |
| 5.2.2. Le système solaire combiné (SSC) | 29 |

Chapitre II

Méthode de calcul des déperditions thermiques et de la consommation totale de chaleur d'un local

| | |
|--|-----------|
| 1. Définitions | 32 |
| 1.1. Bilan thermique | 32 |
| 1.2. Les déperditions calorifiques | 32 |
| 1.3. Les déperditions calorifiques de base | 32 |
| 1.4. Le Calcul des déperditions | 32 |
| 2. Bases de calcul | 33 |
| 2.1. Expression générale des déperditions | 33 |
| 2.1.1. Déperditions totales d'un logement | 33 |
| 2.1.2. Déperditions totales d'un volume | 34 |
| 2.1.3. Déperditions par transmission d'un volume | 34 |
| 2.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2. Vérification et déperditions de référence | 35 |
| 2.2.1. Vérification réglementaire | 35 |
| 2.2.2. Calculs des déperditions de référence | 35 |
| 2.3. Calcul des déperditions de base | 36 |
| 2.3.1. Déperditions de base totales | 36 |
| 2.3.2. Déperditions de base pour un volume | 36 |
| 2.4. Puissance de chauffage à installer | 37 |
| 3. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois | 39 |
| 3.1. EXPRESSION GENERALE | 39 |
| 3.1.1. Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes | 39 |
| 3.1.2. Paroi séparant deux ambiances à la même température | 39 |
| 3.2. Coefficient k des parois opaques | 39 |
| 3.2.1. Expression générale | 40 |
| 3.3. La résistance thermique | 41 |
| 3.3.1. La résistance thermique d'une couche homogène | 41 |
| 3.3.2. Résistance thermique d'une couche hétérogène | 42 |
| 3.3.3. Résistance thermique d'une lame d'air | 42 |
| 3.4. Coefficients k des parois vitrées | 42 |
| 3.5. Coefficient k des portes | 44 |
| 4. Déperditions à travers les ponts thermiques | 44 |
| 5. Déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol | 46 |
| 6. Déperditions par renouvellement d'air | 47 |
| 6.1. Expression générale | 47 |
| 6.2. Débit spécifique de ventilation | 48 |
| 6.3. Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent | 50 |
| 7. La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage | 52 |

Chapitre III

Application: étude d'un local, résultats et interprétation

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. Méthodologie | 54 |
| 2. Présentation du cas d'étude | 56 |
| 3. Calcul et résultats | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1. Calcul des déperditions | 60 |
| 3.1.1. Calcul des déperditions surfaciques | 60 |
| 3.1.2. Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques | 62 |
| 3.1.3. Calcul des déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol | 63 |
| 3.1.4. Calcul des déperditions par renouvellement d'air | 64 |
| 3.2. Puissance de chauffage nécessaire | 71 |
| 3.2.1. Températures ambiantes mensuelles | 71 |
| 3.2.2. La consommation de chauffage moyenne mensuelle | 72 |
| 3.3. Irradiation solaire | 73 |
| 3.4. Calcul des surfaces des capteurs solaires | 75 |
| Conclusion générale | 78 |
| Bibliographie | 81 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : La plage de confort température-humidité | 7 |
| Figure 2 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires | 9 |
| Figure 3 : Gains thermiques internes d'un espace | 10 |
| Figure 4 : Les modes et le sens de transfert de chaleur à travers les murs | 11 |
| Figure 5 : Les modes de transmission de chaleur dans le vitrages double | 12 |
| Figure 6 : Transmission de la chaleur à travers une dalle sur sol | 13 |
| Figure 7 : Distribution des températures au niveau d'un pont thermique. | 13 |
| Figure 8 : schéma représentatif du renouvellement de l'air dans une habitation | 14 |
| Figure 9 : Transfert thermique dans un cycle frigorifique. | 19 |
| Figure 10 : système de chauffe-eau solaire thermosiphon directe. | 22 |
| Figure 11 : système de chauffe-eau solaire thermosiphon indirecte. | 22 |
| Figure 12 : système de chauffe-eau solaire à circulation forcée. | 23 |
| Figure 13 : système de chauffe-eau solaire autovidangeable à circulation forcée. | 23 |
| Figure 14 : système de chauffe-eau solaire avec appoint intégré. | 24 |
| Figure 15 : système de chauffe-eau solaire avec appoint séparé. | 25 |
| Figure 16 : système de production centralise et distribution directe. | 26 |
| Figure 17 : système de production centralise et distribution boucle de circulation. | 26 |
| Figure 18 : système de production solaire collective à appoints individuels. | 27 |
| Figure 19 : Le plancher solaire direct. | 28 |
| Figure 20 : système de chauffage solaire par le Plancher Solaire Direct. | 28 |
| Figure 21 : système de production eau chaude et chauffage avec appoint intégré. | 29 |
| Figure 22 : schéma representatif des ponts thermiques | 45 |
| Figure 23 : schéma représentatif d'un plancher bas | 46 |
| Figure 24 : Organigramme de méthodologie. | 55 |
| Figure 25 : Plan de situation du cas d'étude. | 56 |
| Figure 26 : Coupe schématique de la dalle. | 57 |
| Figure 27 : Plan R-D-C du cas d'étude | 58 |

| | |
|---|----|
| Figure 28 : Plan 1er étage du cas d'étude | 59 |
| Figure 29 : Coupe schématique du mur. | 60 |
| Figure 30 : Le taux de dispersion thermique pour chaque type de déperditions. | 65 |
| Figure 31: Répartition en pourcentage des déperditions de chaleur. | 66 |
| Figure 32 : L'influence des vitrages sur les déperditions totales (les valeurs en millimetres sont l'épaisseur de la lame d'air) | 67 |
| Figure 33 : L'influence des portes sur les déperditions totales. | 68 |
| Figure 34 : L'influence des murs sur les déperditions totales. | 69 |
| Figure 35 : Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2016 « Biskra – Algérie » | 72 |
| Figure 36 : Consommation de chauffage moyenne mensuelle /2016. | 72 |
| Figure 37: Site pour le calcul du rayonnement solaire. | 73 |
| Figure 38 : Résultat du rayonnement solaire. | 73 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Valeurs de référence de température de l'air | 6 |
| Tableau 2 : les coefficients a, b, c, d et e, (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) pour le calcul des déperditions de référence, dépendent de la nature du logement et de la zone climatique | 36 |
| Tableau 3 : Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieur et extérieur | 41 |
| Tableau 4 : La résistance thermique du la lame d'air | 42 |
| Tableau 5 : Les coefficients de transmission K_{vn} des vitrages nus | 43 |
| Tableau 6 : Les coefficients de transmission K (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) des portes | 44 |
| Tableau 7 : Les formules donnant les coefficients k_l linéiques | 45 |
| Tableau 8 : Les valeurs des coefficients k_s du plancher en fonction de la différence de niveau | 47 |
| Tableau 9 : Les valeurs du débit extrait minimal de référence en fonction du nombre de pièces principales du logement | 49 |
| Tableau 10 : Le débit extrait maximal de référence Q_{Vmax} de chaque pièce de service du logement | 49 |
| Tableau 11 : les valeurs de P_0 pour les ouvrants courants | 51 |
| Tableau 12 : Le coefficient d'exposition au vent eV | 51 |
| Tableau 13 : les résultats des déperditions à travers les murs. | 61 |
| Tableau 14 : les résultats des déperditions à travers les fenêtres. | 61 |
| Tableau 15 : les résultats des déperditions à travers les portes. | 62 |
| Tableau 16 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre un mur et une menuiserie. | 62 |
| Tableau 17 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre deux parois extérieures. | 63 |
| Tableau 18 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre une paroi extérieure et une paroi intérieure | 63 |
| Tableau 19 : le résultat des déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol | 63 |
| Tableau 20 : les résultats des déperditions par renouvellement d'air | 64 |
| Tableau 21 : Les déperditions totales | 65 |
| Tableau 22 : Irradiation globale par jour en (Wh/m^2) | 74 |
| Tableau 23 : Les surfaces des capteurs solaires. | 75 |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le sommet de la terre de Rio de Janeiro (1992) a instauré une stratégie pour le développement : Le développement durable qui comme définit par Brundtland, Premier Ministre norvégien, est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Ce développement repose sur trois aspects : l'économie, l'écologie, et le social. En d'autres termes, il consiste à assurer un développement et une qualité de vie à moindre coût énergétique et environnementale ; un usage rationnel des ressources naturelles et le développement de ressources renouvelables, avec moins d'impact sur l'environnement.

Les études ont montré que le secteur du bâtiment, principalement l'habitat, est le plus consommateur d'énergie (énergivore), dépassant les 40% de la consommation totale de l'énergie. Beaucoup de pays ont développé des stratégies et des règlements, inspirées du concept de durabilité, pour réduire la consommation d'énergie dans le bâtiment, en réduisant le besoin et la consommation par l'adoption des techniques performantes en terme d'efficacité énergétiques ; Tout en assurant le confort des habitants. En plus, ils ont mené des campagnes de sensibilisation pour que les citoyens adoptent durablement des comportements et automatismes économes en énergies.

La réduction de la consommation énergétique d'un bâtiment s'effectue principalement au niveau de sa phase de conception pertinente à plusieurs paramètres ; tels que, le parti architectural, l'orientation, le choix de matériaux (exigences thermiques), les techniques de construction, la ventilation. Ceci implique une bonne isolation thermique, minimisant la déperdition énergétique, pendant les périodes chaudes et froides.

Alors, pour minimiser la consommation d'énergie dans le chauffage, la meilleure stratégie est de procéder par la forme 'passive' (bioclimatique, design du bâtiment). Néanmoins, le chauffage par capteurs solaires thermiques, constitue une alternative durable pour assurer le confort thermique intérieur des utilisateurs pendant les périodes froides, et répond également à leurs besoins en termes de fourniture d'eau chaude sanitaire. Il est propre avec peu d'impact sur l'environnement,

et économique car l'énergie solaire est gratuite et inépuisable, principalement efficace dans les zones ensoleillées, ce qui permet un confort à un moindre coût.

L'objectif du présent travail du mémoire consiste au calcul des apports énergétiques d'un local. La structure du mémoire repose sur trois chapitres. Le premier consiste en une recherche exploratoire relative au confort thermique, aux déperditions thermiques et au chauffage ainsi qu'aux systèmes de chauffage solaire des bâtiments. Le second traite la méthode de calcul des déperditions thermiques des bâtiments et la puissance de chauffage nécessaire, selon le document technique réglementaire (D.T.R.C 3-2) algérien relatif à réglementation thermique des bâtiments d'habitation [1]. Le troisième chapitre comporte le calcul des déperditions thermiques du cas d'étude, en l'occurrence une maison d'habitation individuelle, ainsi que la puissance de chauffage et la surface des capteurs solaires nécessaire pour offrir un confort thermique intérieur. Le mémoire s'achève par une simulation comparative de quelques paramètres influant sur la déperditions thermiques (murs), et une conclusion générale.

CHAPITRE I

Technologies et principes du confort thermique

1. Le confort thermique

Le confort peut être défini comme le degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception. La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu [2]

1.1. La notion de confort thermique

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique [3]. Il peut être décrit avec de nombreux paramètres [4] :

- Le paramètre physique : l'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échanges de chaleur.
- Le paramètre psychologique : Il concerne les sensations de confort éprouvées par l'homme et la qualification des ambiances intérieures.

Pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies [5] :

- ✓ Le corps doit maintenir une température interne stable.
- ✓ La production de sueur ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.
- ✓ Aucune partie du corps ne doit être trop chaude ni trop froide (inconfort local).

La définition du confort thermique dans les bâtiments est importante non seulement pour la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour la quantité d'énergie à fournir par les équipements d'ambiance. Or l'énergie utilisée pour chauffer, ventiler ou climatiser les bâtiments représentent la majorité de l'énergie consommée par ce secteur, un secteur qui à lui seul, utilise 45 % de la consommation d'énergie finale en France, et est responsable du quart des émissions de CO₂, principal gaz à effet de serre [3].

Pour approfondir cette notion de confort thermique, nous évoquerons dans ce qui suit, les paramètres affectant le confort thermique, l'approche statique du confort à travers les phénomènes de thermorégulation (base physiologique) et d'échanges thermiques (base physique) du corps humain avec son environnement extérieur.

1.2. Les paramètres affectant le confort thermique

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres, des paramètres liés à l'individu, des paramètres liés à l'environnement et des paramètres liés aux gains thermiques internes :

- Les paramètres liés à l'environnement, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air.
- Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu.
- Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques ...).

1.2.1. La température de l'air

Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu [6]. Donc La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe [7]

La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes [6] :

- Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).
- Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).
- Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent [6].

La réglementation générale française pour la protection du travail (RGPT) [9], impose des valeurs de référence pour les températures de l'air, données par le tableau 1 ci-dessous [4] :

Tableau 1 : Valeurs de référence de température de l'air [9]

| Type de local | Température de l'air |
|--|----------------------|
| Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple : bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence. | 21°C |
| Locaux où des gens peu ou pas habillés sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires. | 23 à 25°C |
| Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique très légère. Par exemple ateliers, laboratoires, cuisines. | 17°C |
| Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique. Par exemple salles de gymnastique, salle de sport. | 17°C |
| Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire. | 17°C |
| Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives. | 5°C |

1.2.2. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire et les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

L'inconfort n'apparaît que lorsque [6] :

- L'humidité relative est inférieure à 30 %
- L'humidité relative est supérieure à 70 %

Selon Liébard A. [9], entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort [4].

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 % [6]. Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans la figure 1 suivant :

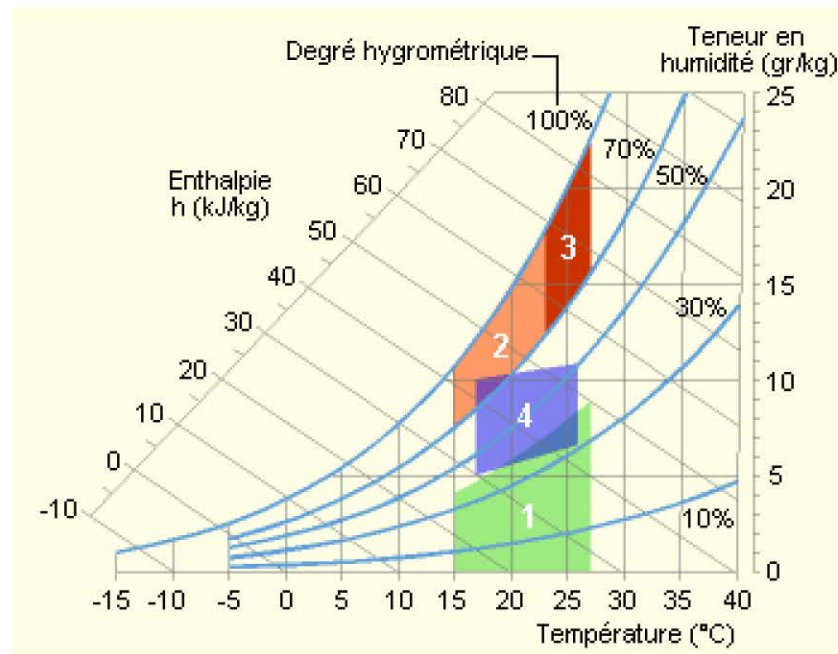


Figure 1 : La plage de confort température-humidité [6]

- 1- Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2-3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
- 3- Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4- Polygone de confort hygrothermique.

1.2.3. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération, La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s [9]. Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés [4].

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été, mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air) [6].

1.2.4. Le métabolisme

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est à dire la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classique de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées [4].

1.2.5. Habillement

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver [4].

La v ture a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de v ture, exprimé en Clo, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement. La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement [10].

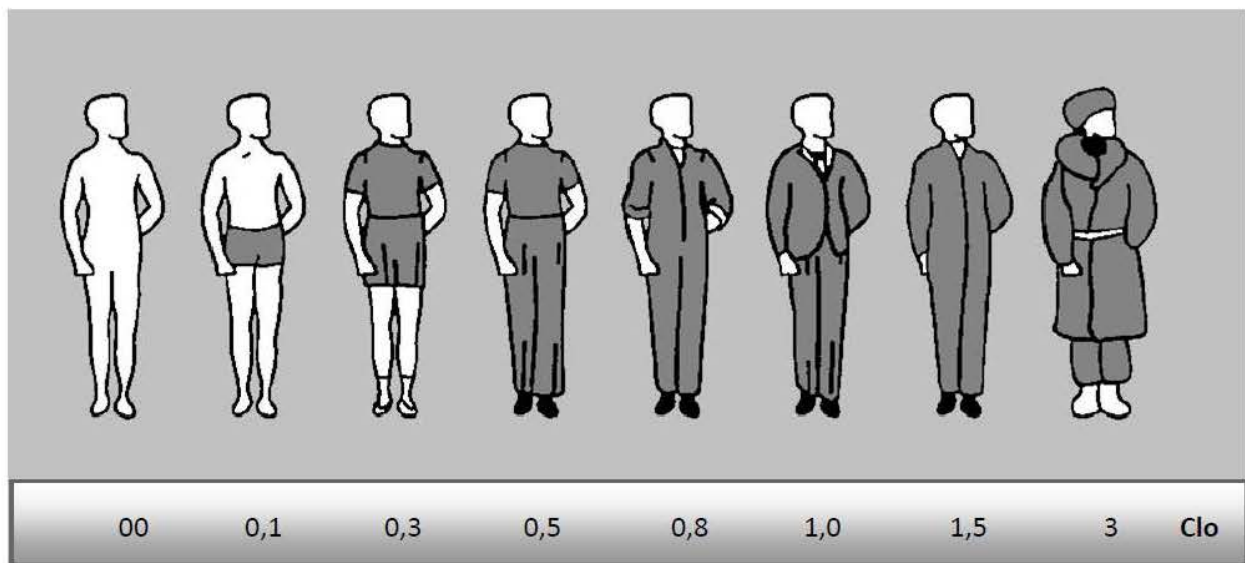


Figure 2 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires [4]

1.2.6. Paramètres liés aux gains thermiques internes

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques ( clairage, électroménager, ...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur. Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme [11].

Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. Ces gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage. D'après Hugues Boivin [12] Le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes, on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne

ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure [12].

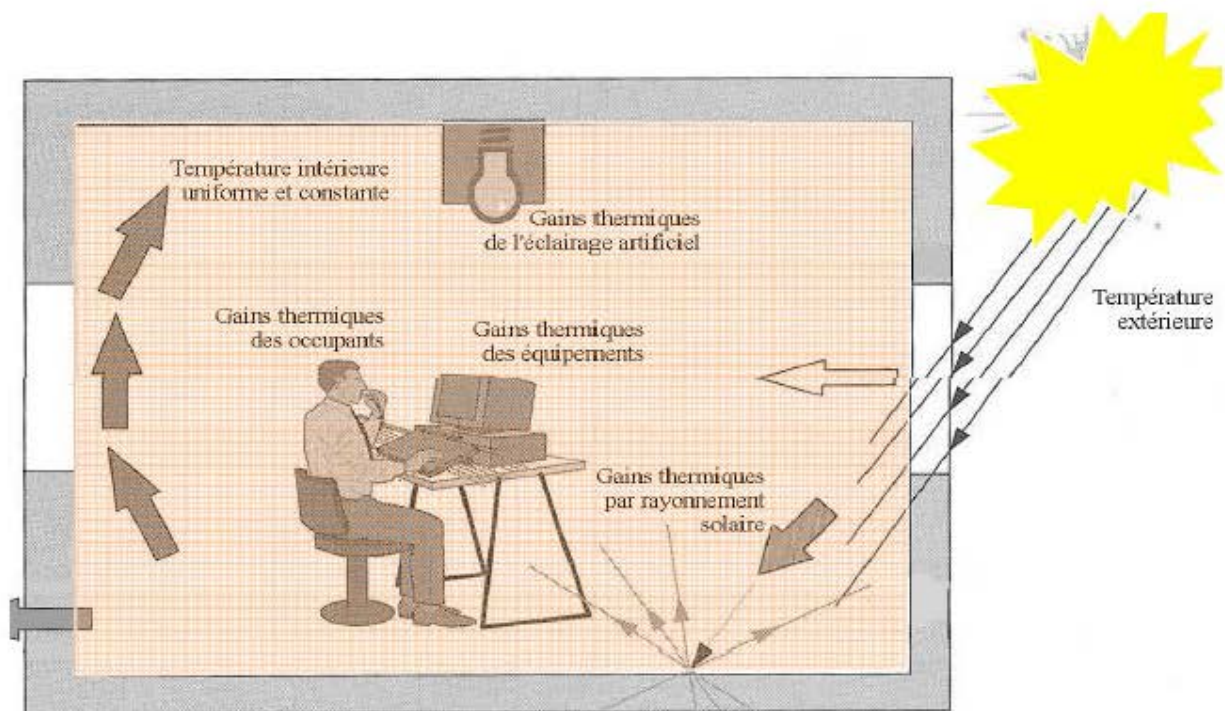


Figure 3 : Gains thermiques internes d'un espace [4]

2. Les déperditions thermiques

Les déperditions thermiques représentent les pertes thermiques que subit un bâtiment par ses parois et ses échanges de fluide avec l'extérieur et donc la puissance thermique qu'il est nécessaire de mettre en œuvre pour assurer le chauffage d'une pièce, d'une maison, d'un bâtiment. Les déperditions thermiques se produisent par plusieurs façons [13].

2.1. Type de déperditions thermiques

Il est possible de distinguer 3 types de déperdition thermiques :

- Les déperditions à travers les parois, dites surfaciques.
- Les déperditions par ponts thermiques.
- Les déperditions par renouvellement d'air.

2.1.1. Les déperditions surfaciques

2.1.1.1. Les murs

Les murs sont l'une des principales causes de déperdition thermique d'un bâtiment du fait de l'importance de la surface de contact qu'il existe entre eux et l'extérieur, causent une partie importante des pertes de chaleur (Figure 4). Ainsi, 25 % des pertes de chaleur sont occasionnées par une mauvaise isolation des murs. Pour limiter ces pertes de chaleur on peut isoler les murs (par l'intérieur ou par l'extérieur) [14].

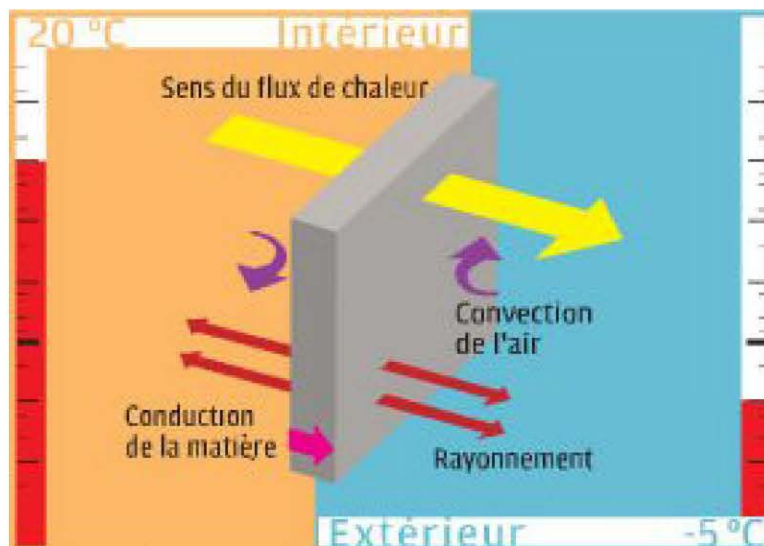


Figure 4 : Les modes et le sens de transfert de chaleur à travers les murs[15]

2.1.1.2. Les fenêtres et les portes

Les fenêtres sont nécessaires dans un bâtiment pour le confort, pour bénéficier des apports solaires, etc (Figure 5). Cependant, les fenêtres constituent un véritable gouffre énergétique en hiver... La résistance thermique d'une fenêtre est en effet 10 fois plus faible que celle d'un mur [16]. Elles représentent un élément important du bilan énergétique global de la maison. Pour que l'enveloppe de la maison soit performante, le choix d'un vitrage et de menuiseries adaptés est capital.

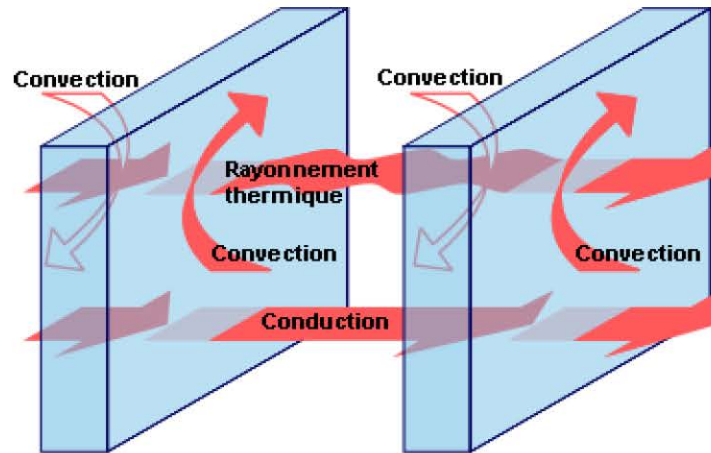


Figure 5 : Les modes de transmission de chaleur dans le vitrages double [6]

Les fenêtres sont des points sensibles pour les déperditions thermiques. Plus on augmente la surface des vitrages, plus on risque de perdre des calories si ce n'est pas bien géré [17].

Autre point sensible du bâtiment : les portes, surtout celles donnant vers l'extérieur et vers les parties non chauffées de l'habitation. Leurs performances thermiques peuvent être améliorées grâce à de petits gestes simples comme, par exemple, de placer des bas de portes, voire de coller un isolant incombustible sur toute la porte [18].

2.1.1.3. Le sol

Lorsqu'un local appartenant au volume protégé est limité par un plancher en contact avec le sol, la terre participe à la résistance thermique du plancher. La chaleur, pour sortir du bâtiment et atteindre l'air extérieur, doit traverser le plancher ainsi que le sol avec lequel il est en contact (Figure 6). [19]. En effet, plus il fait froid sous la maison, plus la chaleur aura tendance à s'échapper pour aller réchauffer le sous-sol. Les déperditions seront donc plus grandes si vous possédez un terre-plein (terre brute) qu'une cave ou un vide-sanitaire.

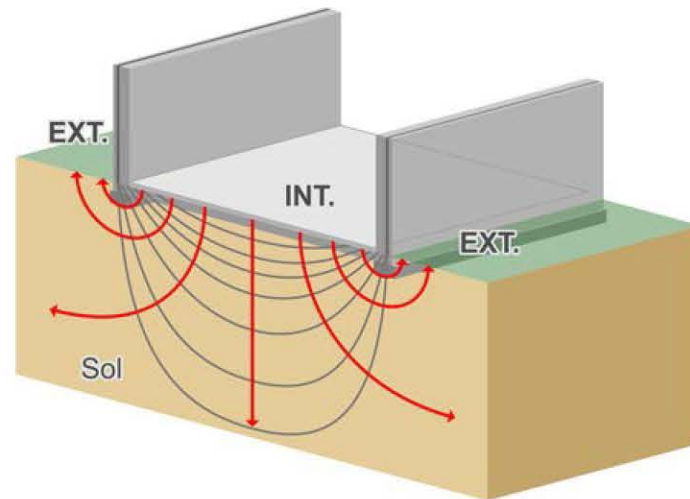


Figure 6 : Transmission de la chaleur à travers une dalle sur sol [19].

2.1.2. Les ponts thermiques

Un pont thermique (Figure7) est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique. Il s'agit d'un point de la construction où la barrière isolante est rompue. Un pont thermique est donc créé si [14] :

- Il y a changement de la géométrie de l'enveloppe,
- Il y a changement de matériaux et ou de résistance thermique.

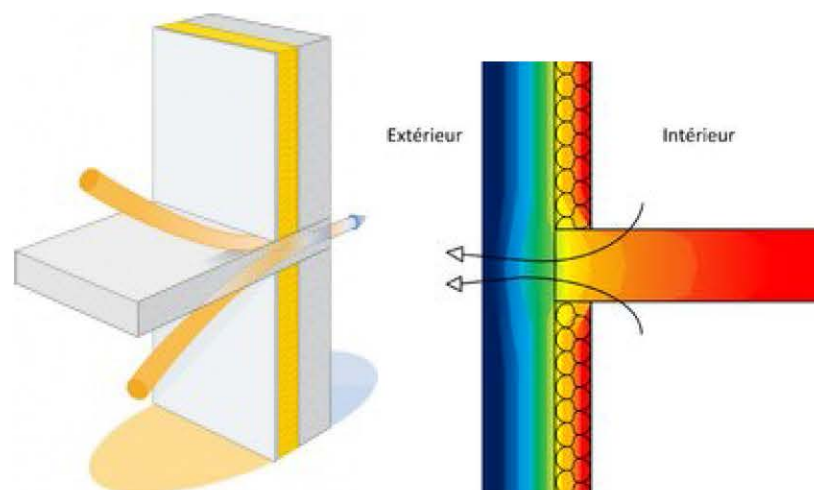


Figure 7 : Distribution des températures au niveau d'un pont thermique.

Les ponts thermiques les plus fréquents sont [20]:

- Le contact entre deux éléments de l'enveloppe (les coins des murs, contact mur-toiture, contact mur-plancher)
- Le contact entre des murs de refend, murs de façade et toitures
- Le contact entre des planchers et les murs extérieurs
- Les colonnes dans les murs extérieurs
- Autour des fenêtres et portes

2.1.3. Les Déperditions par renouvellement de l'air

Le renouvellement de l'air (Figure 8) des volumes intérieurs est un problème important dans le domaine de l'architecture et de la conception des habitacles. Ses enjeux concernent le confort, la santé, mais aussi les économies d'énergie. La ventilation peut être passive ou mécaniquement assistée [14].

Une maison parfaitement étanche à l'air permet de garantir un bon confort thermique pour les occupants, de limiter la facture énergétique, d'assurer un bon confort acoustique, de prévenir la dégradation prématurée du bâti principalement [21].

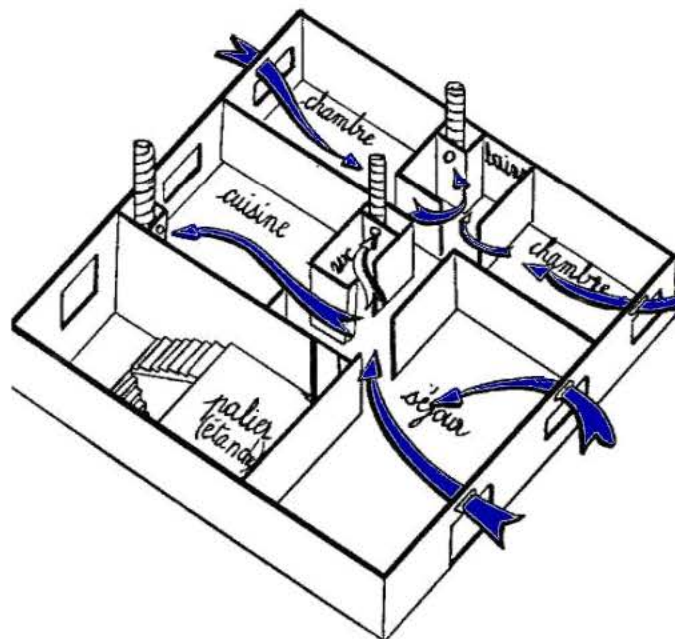


Figure 8 : schéma représentatif du renouvellement de l'air dans une habitation [22].

Le renouvellement de l'air intérieur est important pour la santé et c'est une erreur grave de vouloir isoler un local et de limiter sa ventilation par économie d'énergie. Il existe plusieurs moyens de renouveler l'air en le tempérant avant qu'il ne pénètre un local. Les infiltrations se produisent à travers les fentes, fissures, l'ensemble des défauts d'étanchéité d'une construction par différence de pression et de température entre l'intérieur et l'extérieur. Pendant longtemps ce fut la méthode traditionnelle de ventilation ; aujourd'hui, les menuiseries et les méthodes de construction moderne tendent à les faire disparaître à renfort de joints d'étanchéité, de mastic, de calfeutrement dont seuls certains ne sont pas nuisibles pour la santé [23].

3. Le chauffage

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

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue le chauffage à des fins de confort thermique (chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, etc.) et le chauffage à des fins industrielles (chauffage de pièces mécaniques, de processus industriels, etc.) [14].

Le confort thermique est assuré principalement par le chauffage des locaux et volumes de vie ainsi que par le chauffage de l'eau chaude sanitaire, voir le chauffage des eaux de piscines [14].

Le chauffage à des fins de confort est utilisé pour maintenir ou améliorer les conditions d'une ambiance agréable pour les êtres vivants, dans les espaces clos constituant les lieux de vie (bâtiments, habitacles de moyens de transports, piscines, etc.). L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique d'un espace à vivre. Un système de chauffage consomme de l'énergie sous une forme et la restitue sous forme de chaleur. Par extension, le terme chauffage désigne aussi tous les systèmes destinés à assurer l'augmentation de température d'une pièce à vivre ou d'un processus de fabrication [24].

3.1. Principes de chauffage

3.1.1. Classement des systèmes de chauffage

Il existe tellement de systèmes de chauffage différents qu'il est uniquement possible de les classer selon différents thèmes, à titre d'exemple [24] :

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

Chaque système possède ses caractéristiques que l'on peut qualifier d'avantageuses ou de désavantageuses par rapport au bâtiment et à ses habitants [25].

3.1.2. Chauffage individuel

On entend, par chauffage individuel, le chauffage d'une pièce par un ou plusieurs appareils de chauffage qui y sont installés. Ces appareils de chauffage transformeront sur place l'énergie en chaleur pour chauffer la pièce, tels que [25] :

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

3.1.3. Chauffage central

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

chauffage à eau chaude, la chaleur transportée est émise par des corps de chauffe. En cas de chauffage à air chaud, l'air chaud pénètre dans le local par des bouches de soufflage [24].

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

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

On distingue différents systèmes, selon la disposition et le groupement des éléments. C'est surtout le mode de construction qui détermine le système à choisir [25].

3.1.4. Avantages et inconvénients

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

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

B/ Ses inconvénients sont :

- Des frais d'installation plus élevés.
- Si la chaudière tombe en panne, il n'y a plus du tout de chauffage.

- Outre les coûts en carburant, il y a aussi des coûts de courant électrique pour les circulateurs et les organes de régulation.
- Les pertes d'énergie dans le réseau de distribution.
- Le risque de gel de l'eau dans les radiateurs.

4. La pompe à chaleur (PAC)

4.1. Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur

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

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

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

En résumé on peut conclure :

- La pompe à chaleur est un appareil de chauffage.
- Une pompe à chaleur est un appareil qui transfère des calories d'un bas niveau de température à une température supérieure ou cette chaleur est exploitée (utilisée).

Pour assurer ce transfert une énergie est nécessaire qui doit être évidemment inférieure à l'énergie calorifique utile pour que le système ait de l'intérêt. [26]

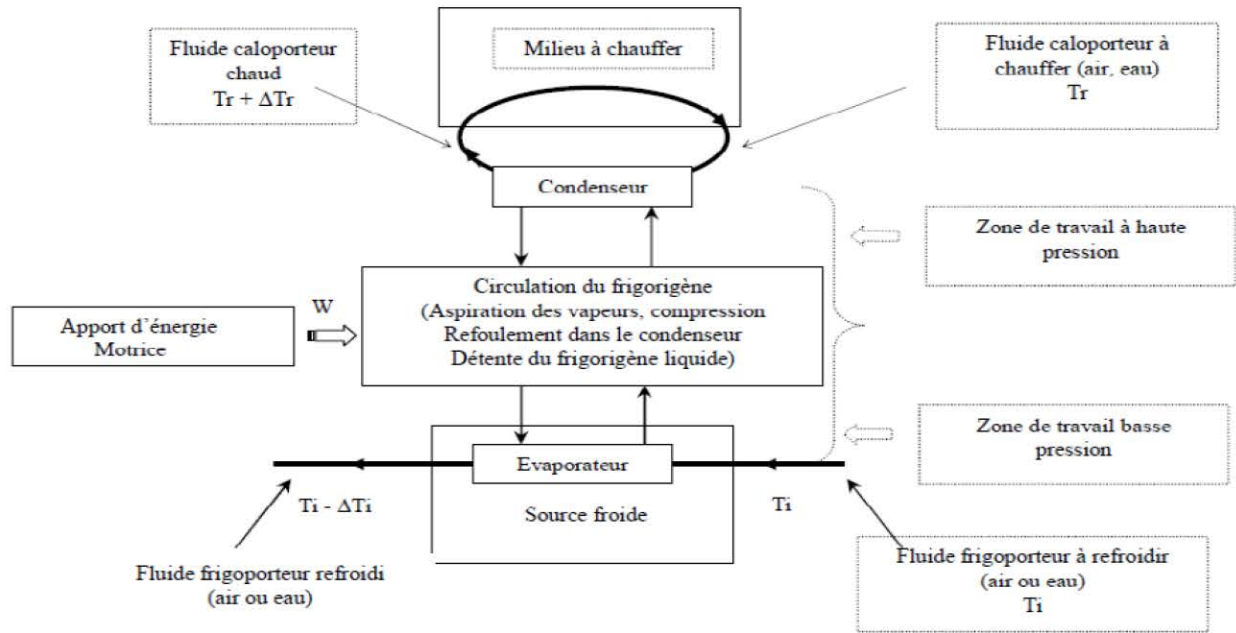


Figure 9 : Transfert thermique dans un cycle frigorifique.

4.2. Cycles de fonctionnement d'une PAC

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

Dans la PAC le transfert de chaleur est effectué à l'aide d'un fluide frigorigène qui décrit un cycle fermé inversé : la chaleur est prélevée par évaporation du frigorigène, les vapeurs dégagées étant ensuite comprimées, puis refroidies et condensées avant d'être réadmisées dans l'évaporateur, par l'intermédiaire d'un détendeur. Certaines pompes à chaleur utilisent d'autres cycles frigorifiques parmi lesquels on trouve les cycles à absorption [24].

5. Les systèmes solaires thermiques

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, direct ou diffus. Sur Terre Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière [27].

Les systèmes de chauffage central solaire ont connu ces dernières années un regain d'intérêt et qui est en constant et significatif croissance principalement en EUROPE, CANADA et aux ETAT UNIES, à titre d'exemple voici une revue des tendances actuelles en chauffage solaire [28].

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

Ce réseau européen nous donne un aperçu des systèmes de chauffage solaire conçus et construits en Europe depuis 1997, on peut remarquer [28] :

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

Les systèmes de chauffage central solaire sont conçus pour fournir une fraction de l'énergie nécessaire de chauffage (la demande). Pour concevoir un système de chauffage à 100 pour cent solaire c'est-à-dire garantir la demande en chauffage uniquement par le système solaire de très grande capacité de stockage doivent être prévu ce qui implique de grande surfaces de captage avec les structures annexe qui en dépendent [24].

5.1. Les systèmes de production d'eau chaude sanitaire

5.1.1. Chauffe-eau individuels

5.1.1.1. Chauffe-eau sans réservoir

Ce type de chauffe-eau, aussi appelé chauffe-eau selon la demande ou chauffe-eau instantané, ne comporte pas de réservoir d'eau chaude. Il chauffe l'eau seulement au besoin, ce qui élimine les pertes inhérentes au système par les parois du réservoir et les canalisations d'eau. Les chauffe-eau sans réservoir sont habituellement installés près du « point d'utilisation » pour répondre à un besoin particulier, selon la consommation d'eau totale, il est possible que ces appareils ne soient pas en mesure de répondre à l'ensemble des besoins en eau chaude des occupants d'une maison. C'est pourquoi ils sont souvent utilisés comme système d'appoint avec un autre dispositif de chauffage de l'eau [29].

5.1.1.2. Le chauffe-eau solaire thermosiphon

Thermosiphon veut dire que la circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon naturellement sans pompe ou autre dispositif, grâce à la différence de température (convection naturelle). Pour ce faire, le ballon doit impérativement être placé plus haut que les capteurs. [29]

On désigne deux types des systèmes thermosiphon :

- Le thermosiphon direct (monobloc)

Dans ce système (Figure 10) l'échange de chaleur entre la partie du fluide chauffée par le capteur solaire et le fluide froid est directement dans le réservoir de stockage.

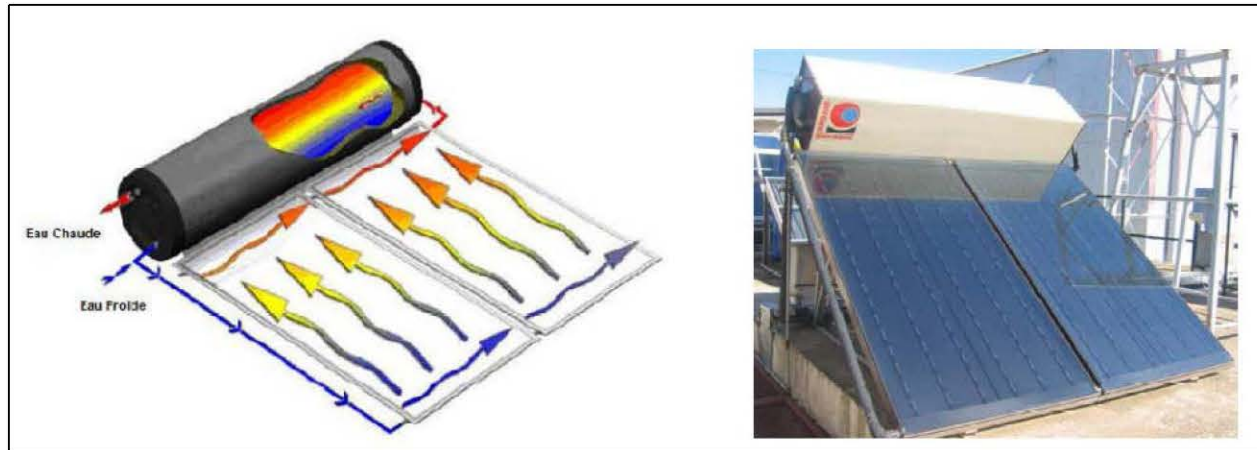


Figure 10 : système de chauffe-eau solaire thermosiphon directe [29].

- Le thermosiphon indirect (à éléments séparés)

Dans ce système (Figure 11) l'échange de chaleur entre les deux fluides chaud et froide par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur où le fluide chaud cède sa chaleur indirectement à l'eau (froide) du réservoir stockage.

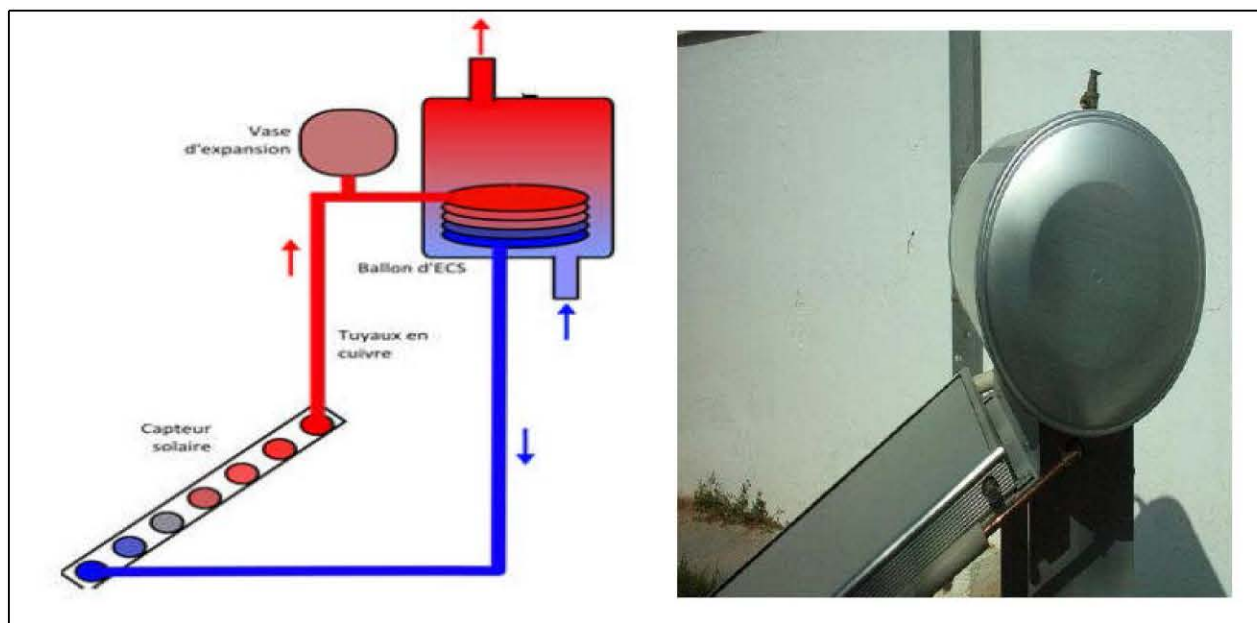


Figure 11 : système de chauffe-eau solaire thermosiphon indirecte [29].

5.1.1.3. Le chauffe-eau solaire à circulation forcée

Ce type de chauffe-eau solaire est adapté à toutes les différentes configurations. Ainsi, le ballon peut être installé dans une cave ou éloigné des capteurs pour cela une pompe est Nécessaire pour faire circuler le fluide caloporteur (Figure 12). Ce type de chauffe-eau solaire est généralement constitué de trois parties : le capteur plan solaire, la cuve de stockage, le groupe de transfert et régulation. [29]

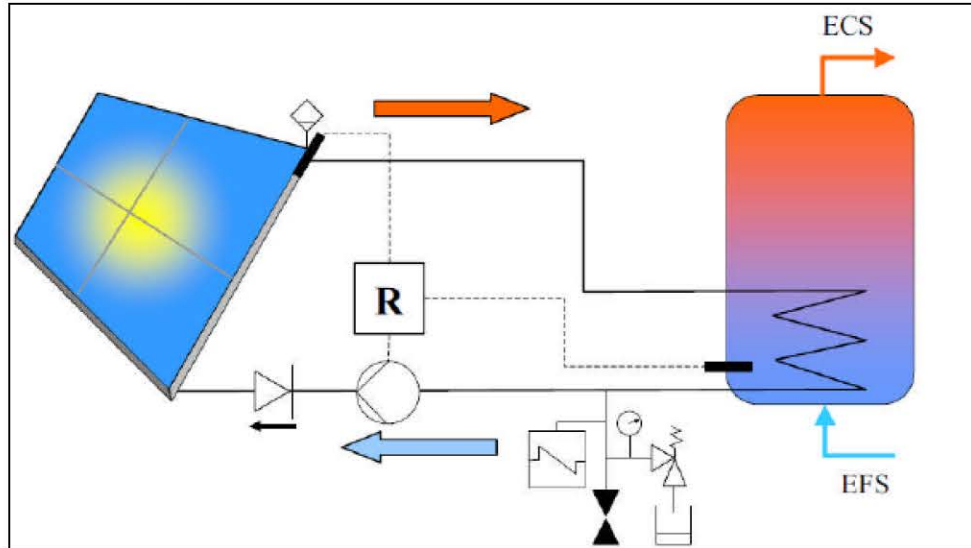


Figure 12 : système de chauffe-eau solaire à circulation forcée [29].

5.1.1.4. Le chauffe-eau solaire auto-vidangeable à circulation forcée

Les capteurs et leurs canalisations se vident automatiquement à l'arrêt de la pompe dans une bouteille de récupération. Les équipements (sauf le capteur) sont situés dans une zone hors gel [29]

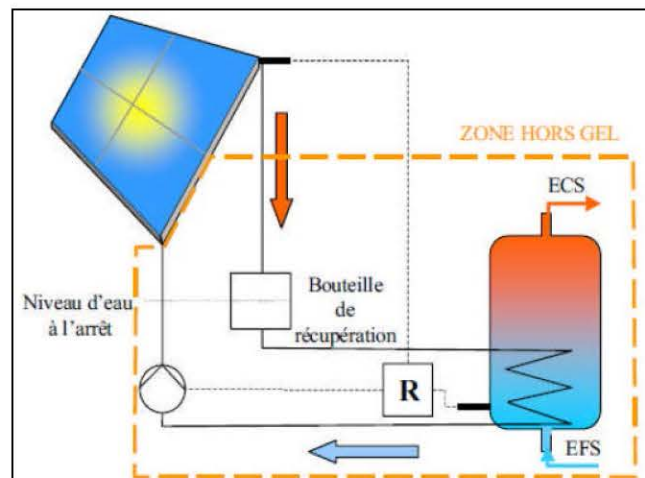


Figure 13 : système de chauffe-eau solaire auto-vidangeable à circulation forcée [29].

5.1.1.5. Recours au chauffage d'appoint

Pour pallier le manque de soleil et s'assurer d'avoir toujours de l'eau chaude à la bonne température et en quantité suffisante, il est nécessaire d'avoir recours à un système d'appoint en eau chaude. Cet appoint peut être soit intégré au ballon solaire soit séparé.

En l'absence de ballon, il est possible de faire un appoint intégré (Figure 14). Le principe est simple, le ballon solaire peut être connecté à la chaudière actuelle ou une résistance électrique peut être installée directement dans le ballon solaire.

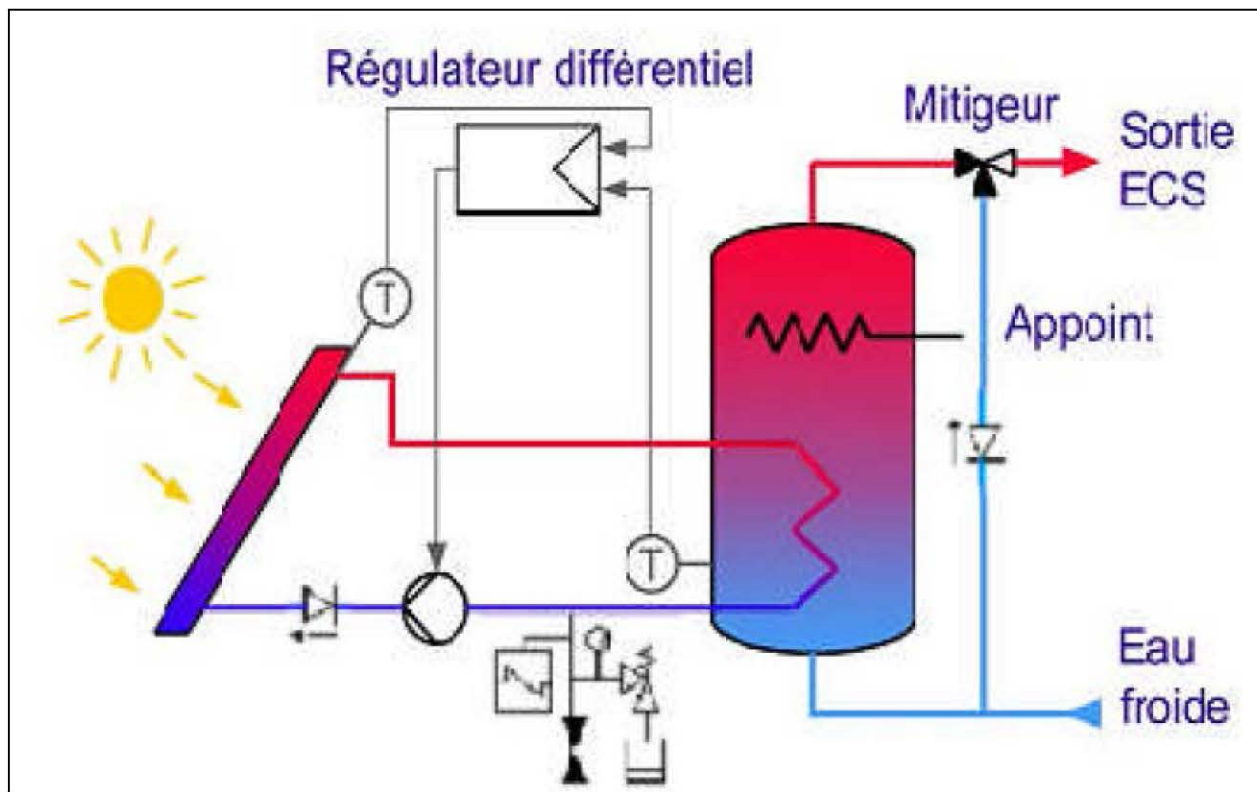


Figure 14 : système de chauffe-eau solaire avec appoint intégré [29].

En présence d'un ballon de stockage, le ballon solaire sera relié à ce dernier et aura pour fonction de préchauffer l'eau (Figure 15).

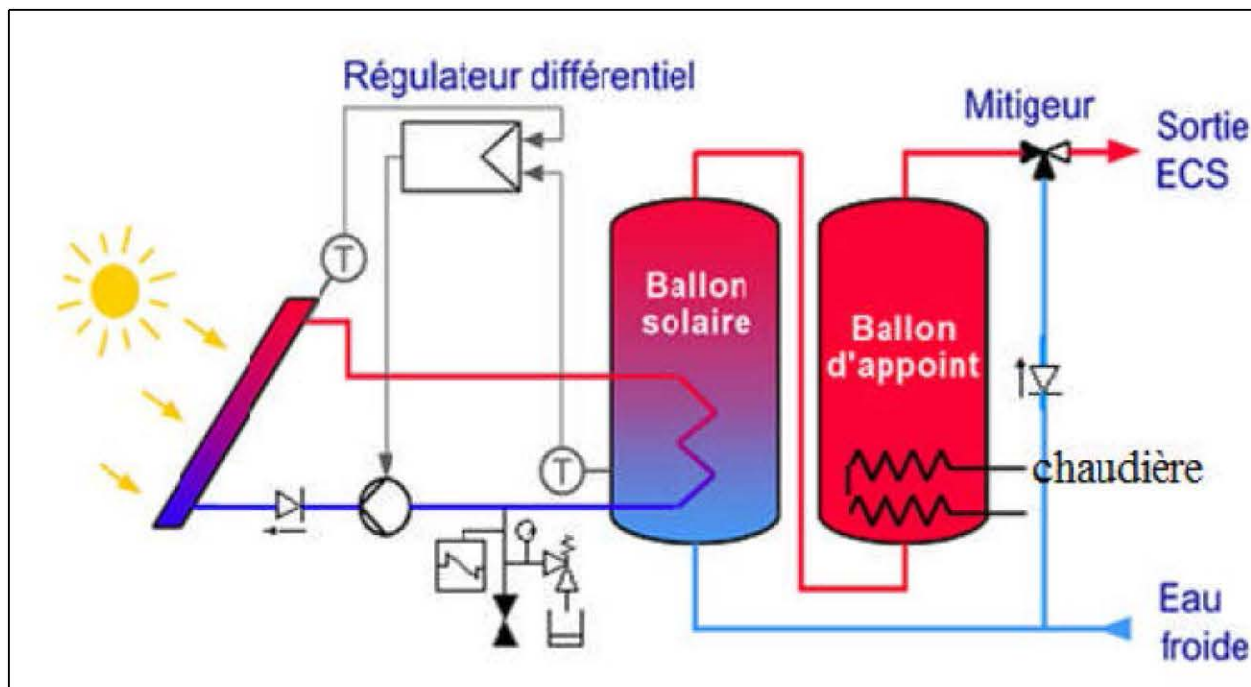


Figure 15 : système de chauffe-eau solaire avec appoint séparé [29].

5.1.2. Chauffe-eau solaire pour une grande consommation (pour les bâtiments collectifs)

Cette installation est conçue pour une eau chaude sanitaire dans les internats des écoles et des universités, les établissements sportifs, les hôpitaux, les hôtels, ... Pour une grande alimentation en eau chaude, l'énergie solaire ne peut remplacer à 100 % celle des combustibles. Il faut donc prévoir un chauffage complémentaire fonctionnant à l'électricité ou aux hydrocarbures [29].

En collectif, pour les petites installations, les schémas adoptés sont analogues à ceux rencontrés dans l'individuel.

Pour les installations de plus grande taille, avec en général une surface de capteurs supérieure à 40 m² (Champs de capteurs), l'échangeur assurant le réchauffage du ballon solaire est extérieur au stockage [29].

La production d'eau chaude sanitaire peut être :

- **Centralisée**, avec un seul ballon solaire pour l'ensemble des logements ou du bâtiment tertiaire. On désigne deux possibilités :

A. production centralisée et distribution directe (Figure 16)

Cette configuration est mise en œuvre lorsque les besoins d'ECS sont limités.

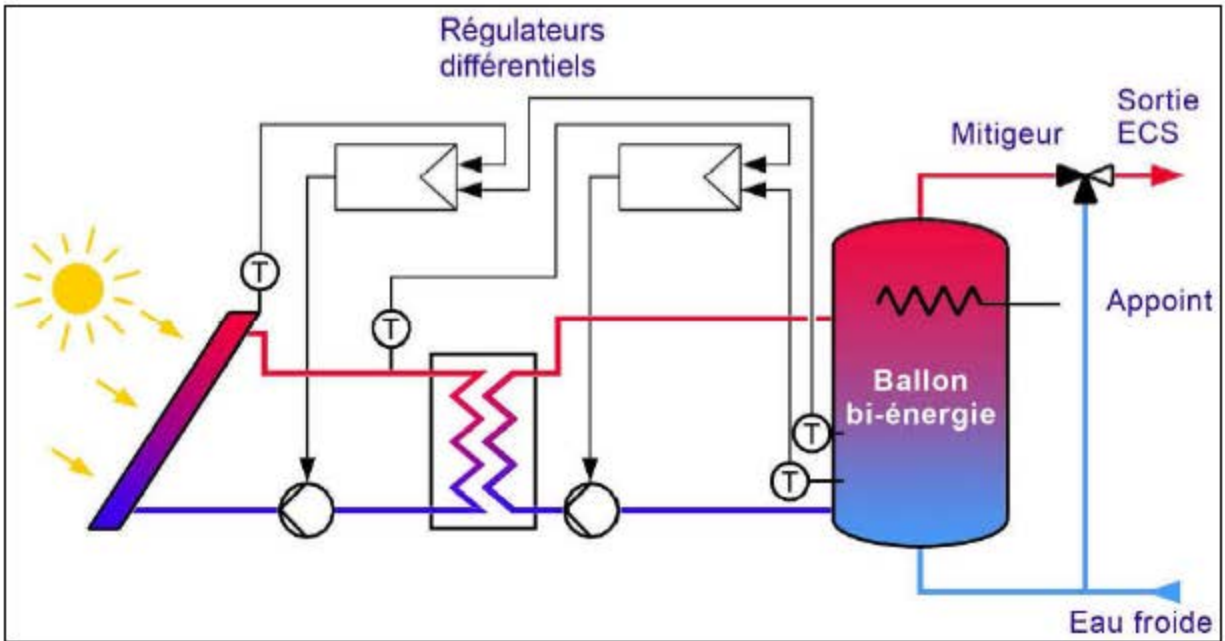


Figure 16 : système de production centralisée et distribution directe [29].

B. production centralisée et distribution par boucle de circulation (Figure 17)

Ce type de configuration est adopté lorsque le volume de stockage est plus important. Il permet aussi un encombrement moindre en hauteur.

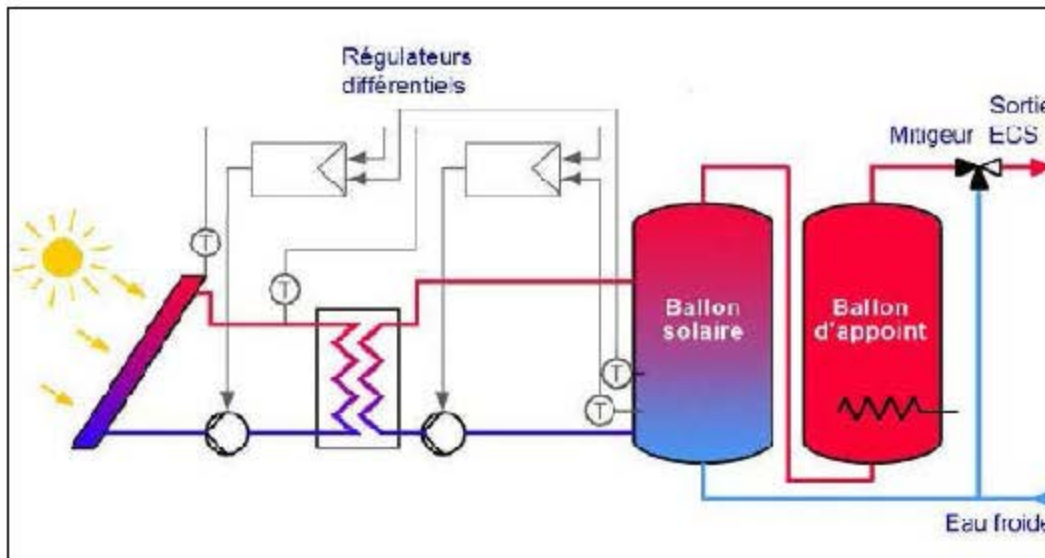


Figure 17 : système de production centralisée et distribution boucle de circulation [29].

- **Décentralisée**, (Figure 18) avec une distribution de l'énergie solaire par logement et par ballon. Cette solution est tout particulièrement adaptée aux immeubles d'habitation collectifs.

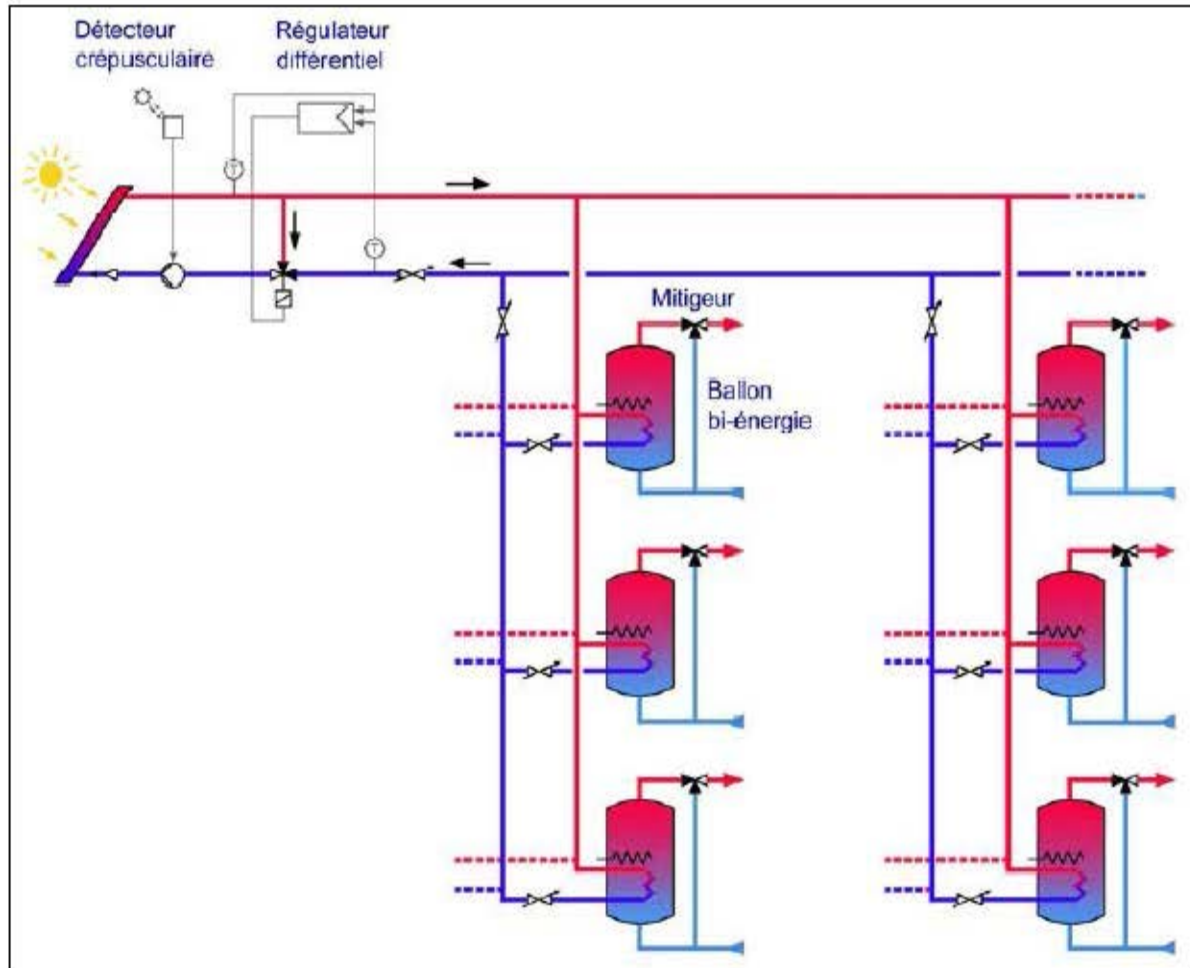


Figure 18 : système de production solaire collective à appoints individuels [29].

5.2. Les systèmes de chauffage solaire des bâtiments

On distingue 2 types d'installations :

5.2.1. Le Plancher Solaire Direct

Le plancher solaire direct (Figure 19) est un système de chauffage solaire qui est essentiellement alimenté par l'énergie du soleil grâce à des panneaux solaires thermiques, ce système utilisé pour chauffer le sol (Figure 20).

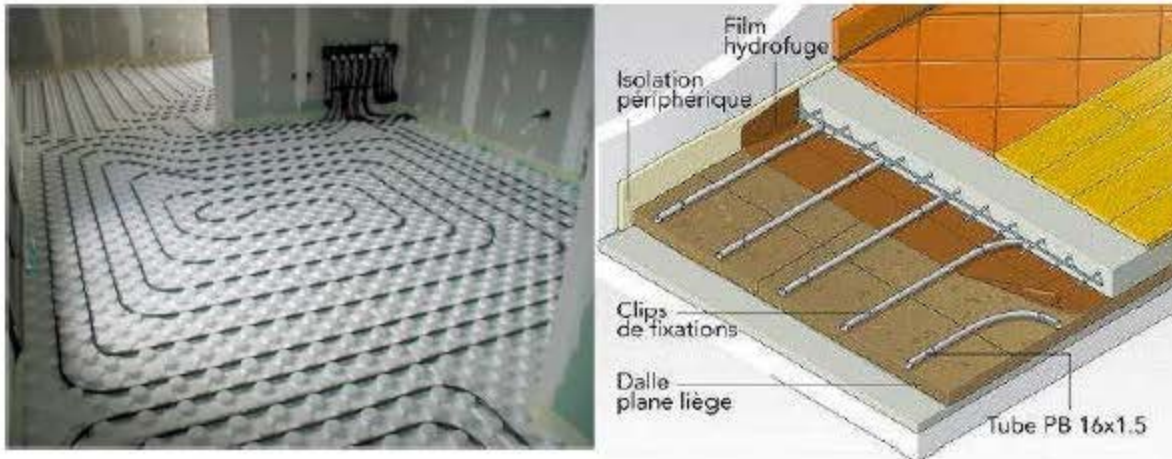


Figure 19 : Le plancher solaire direct [29].

Le principal avantage de cette technique est lié à l'importance des surfaces d'émission et le degré de confort thermique acquis. [29]

On distingue 2 types possibles de PSD : soit utilisée le plancher solaire direct avec appoint séparé ou bien avec appoint intégré.

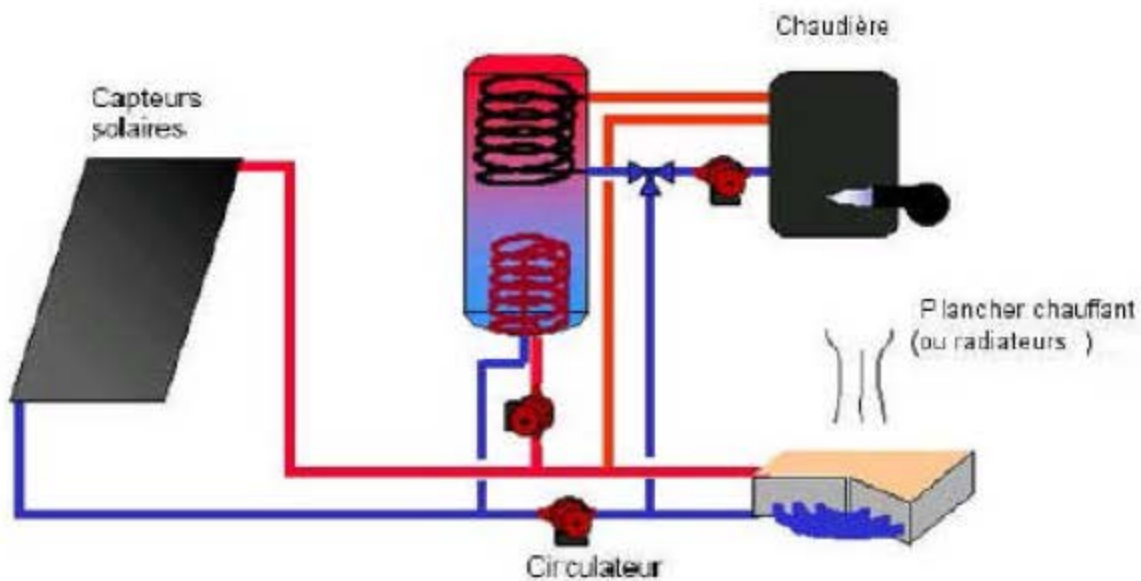


Figure 20 : système de chauffage solaire par le Plancher Solaire Direct [29].

On peut utiliser le Radiateurs solaire direct (RSD) comme un système de chauffage solaire qui est essentiellement alimenté par l'énergie du soleil.

5.2.2. Le système solaire combiné (SSC)

Un système solaire combiné est une installation solaire qui fournit à la fois de l'eau chaude sanitaire et le chauffage (sur un réseau de radiateurs ou un plancher chauffant), on l'appelle aussi *combi système*. Le système solaire combiné (SSC) est composé :

- De capteurs solaires, qui transforment l'énergie solaire en chaleur, ils sont souvent disposés en toiture.
- D'une dalle (comme le Plancher Solaire Direct), dans laquelle circule le fluide caloporteur chauffé par les capteurs
- D'un ballon de stockage, qui gère le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire. [29]

L'efficacité de cette technique ne permet pas en général de couvrir tous les besoins en chauffage et en eau chaude. C'est pour cette raison que le PSD (ou le RSD) est souvent combiné avec un système d'appoint qui permet de pallier l'insuffisance en énergie solaire.

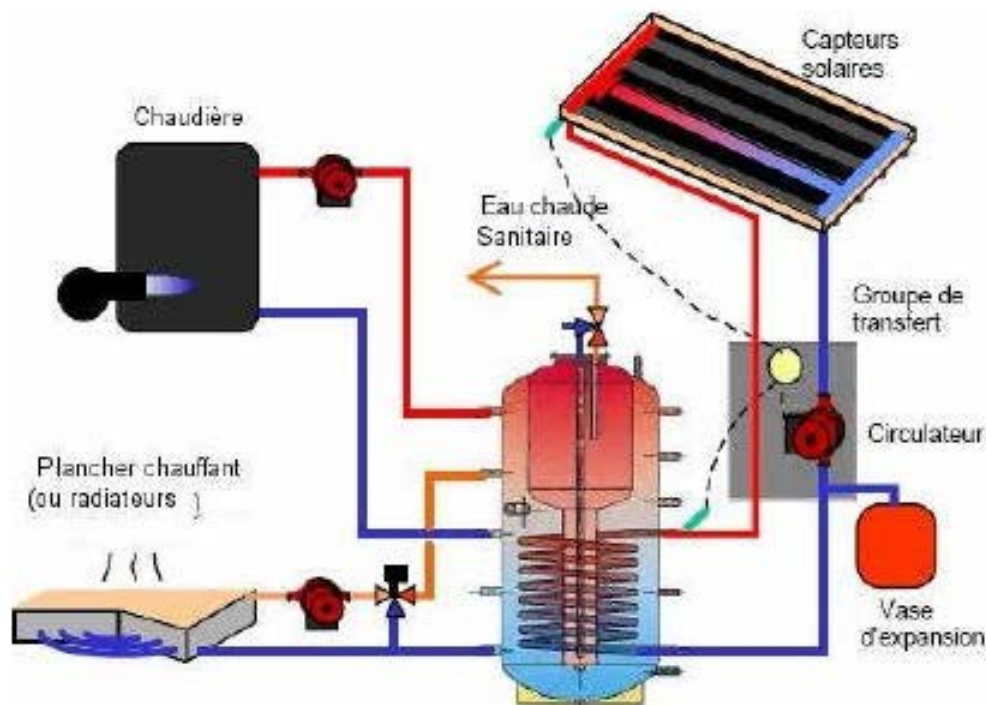


Figure 21 : système de production eau chaude et chauffage avec appoint intégré.

L'énergie d'appoint peut être produite par une installation intégrée au système solaire ou par une installation complètement indépendante du PSD (ou le RSD) comme les convecteurs électriques, cheminée, poêle à bois, chaudière, etc. Dans les deux cas, il faut réguler l'utilisation de ces installations pour pouvoir optimiser l'énergie solaire. En effet, une bonne régulation permettra de gérer la mise en route et l'arrêt de l'installation d'appoint, en fonction de l'ensoleillement et de la demande de chauffage ou d'eau chaude sanitaire [29].

CHAPITRE II

**Méthode de calcul des déperditions thermiques et de la
consommation totale de chaleur d'un local**

1. Définitions

1.1. Bilan thermique

Le calcul d'un bilan thermique permet de connaître avec précision la quantité d'énergie qu'il faudra pour chauffer et refroidir un local pour combattre les déperditions d'un local, celles-ci sont égales les déperditions à travers les parois et les déperditions par le flux d'air d'un local [24].

1.2. Les déperditions calorifiques

Les déperditions calorifiques sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elles s'expriment en watts par degrés Celcius ($W/^\circ C$) [1].

1.3. Les déperditions calorifiques de base

Les déperditions calorifiques de base sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, dans les conditions intérieures et extérieures de base. Elles s'expriment en watts (W) [1].

1.4. Le Calcul des déperditions

Le calcul des déperditions thermiques c'est la détermination de la quantité de chaleur à fournir pour le chauffage d'une pièce à température donnée. Cette chaleur fournie compense les pertes par les parois et l'aération du local, on peut synthétiser les différentes déperditions thermiques d'un bâtiment [24] :

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

Le calcul des déperditions doit être effectué pour répondre à trois préoccupations [22] :

- La plus évidente étant le dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments : ce calcul nous fournira la puissance émise vers l'extérieur et donc la puissance des radiateurs nécessaire.
- Le calcul des déperditions est également un outil de vérification. En effet, il faut essayer de limiter les déperditions dans la mesure du possible (en choisissant des matériaux adaptés pour les parois), afin d'éviter le gaspillage d'énergie.
- Enfin, le calcul des déperditions nous permettra d'avoir accès au calcul des consommations d'énergie, celles-ci lui étant proportionnelles, et donc nous permettra de vérifier que ces consommations restent raisonnables et conformes à la Réglementation Thermique [1] de (D.T.R C 3-2)

2. Bases de calcul

Sur la base du dossier technique, le concepteur doit effectuer les opérations suivantes [1] :

- Définir les volumes thermiques,
- Calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d'air,
- Vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence,
- Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage.

2.1. Expression générale des déperditions

2.1.1. Déperditions totales d'un logement

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

$$D = \sum D_i \quad [W/°C] \quad (1)$$

Où D_i (en $W/°C$) représente les déperditions totales du volume i .

2.1.2. Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales D_i d'un volume i (figure 2.1) sont données par [1]:

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \quad [W/^\circ C] \quad (2)$$

Où :

- $(D_T)_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions par transmission du volume i .
- $(D_R)_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume i .

2.1.3. Déperditions par transmission d'un volume

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

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{tnc})_i \quad [W/^\circ C] \quad (3)$$

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

2.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

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

$$(D_R)_i = (D_{Rv})_i + (D_{RS})_i \quad [W/^\circ C] \quad (4)$$

Où :

- $(D_{Rv})_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.
- $(D_{RS})_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions supplémentaires dues au vent.

2.2. Vérification et déperditions de référence

2.2.1. Vérification réglementaire

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

$$D_T \leq 1.05 \times D_{réf} \quad [W/°C] \quad (5)$$

Où :

- D_T (en $W/°C$) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_{réf}$ (en $W/°C$) représente les déperditions de référence.

2.2.2. Calculs des déperditions de référence

Les déperditions de référence $D_{réf}$ sont calculées par la formule suivante [1] :

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad (6)$$

Où :

- Les S_i (en m^2) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement S_1 la toiture, S_2 le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés, S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les porte-fenêtre. S_1 , S_2 , S_3 sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.
- Les coefficients a , b , c , d et e , (en $W/m^2.°C$), sont donnés dans le tableau (2). Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique (cf. annexe 1 [1]).

Pour le calcul des déperditions de référence, n'ont pas été pris en compte les déperditions de référence par renouvellement d'air [1].

Les coefficients a , b , c , d et e correspondent en fait à des coefficients K globaux (cf. chapitre 4, paragraphe 1). Bien entendu, ils ne représentent pas chacun une valeur limite intrinsèque à ne pas dépasser puisque seul le total de l'addition est caractéristique et que des compensations sont possibles [1].

Tableau 2 : les coefficients a , b , c , d et e , (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) pour le calcul des déperditions de référence, dépendent de la nature du logement et de la zone climatique [1]

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

2.3. Calcul des déperditions de base

Le calcul de la puissance de chauffage d'un logement doit comporter le calcul des déperditions de base. Pour cela, on doit prendre en compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base [1].

2.3.1. Déperditions de base totales

Les déperditions de base totales pour un local D_B , contenant plusieurs volumes thermiques, ont pour expression [1] :

$$D_B = \sum (D_B)_i \quad [W] \quad (7)$$

Où $(D_B)_i$ (en W) représente les déperditions de base de chaque volume thermique i .

2.3.2. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique $(D_B)_i$ ont pour expression [1] :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \quad [W] \quad (8)$$

Où :

- D_i (en $W/^\circ C$) représente les déperditions totales du volume thermique i .

- t_{bi} (en °C) est la température intérieure de base du volume considéré.
- t_{be} (en °C) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

2.4. Puissance de chauffage à installer

La puissance totale de chauffage installée pour un logement ne doit pas être inférieure aux déperditions de base (du même logement). Théoriquement, il suffirait d'une puissance utile installée égale aux déperditions de base D_B pour être en mesure d'assurer à l'ambiance intérieure la température désirée. Dans la pratique, compte tenu de l'inertie du bâtiment (air et parois), et compte tenu des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries, la puissance fournie par une chaufferie doit être supérieure à D_B [1].

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

$$q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max}(c_r ; c_{in})]D_T] + [(1 + c_r) \times D_R] \quad [W] \quad (9)$$

Où :

- t_{bi} (en °C) représente la température intérieure de base,
- t_{be} (en °C) représente la température extérieure de base,
- D_T (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement,
- D_R (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement,
- c_r (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,
- c_{in} (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.

Le coefficient c_{in} est appliqué aux seules déperditions par transmission. Il est introduit pour diminuer le temps nécessaire à l'obtention de la température désirée lors d'une mise en route ou d'une relance.

Le coefficient c_{in} prend les valeurs suivantes :

- 0,10 en cas de chauffage continu.
- 0,15 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "faible" ou "moyenne".
- 0,20 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "forte".

Le coefficient c_r prend les valeurs suivantes :

- 0 pour les installations de type "chauffage individuel",
- 0,05 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées.
- 0,10 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles les tuyauteries sont calorifugées seulement dans les zones *non chauffées.

0,20 pour les installations de type "chauffage central" dont le réseau de tuyauteries n'est pas calorifugé.

3. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

3.1. EXPRESSION GENERALE

3.1.1. Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule [1] :

$$D_s = K \times A \quad [W/°C] \quad (10)$$

Où :

- K (en $W/m^2.°C$) est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussi conductance).
- A (en m^2) est la surface intérieure de la paroi.

3.1.2. Paroi séparant deux ambiances à la même température

- Dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles.
- Les flux de chaleur d'un volume à un autre, dans un logement, ne doivent pas être pris en compte, à condition que les pièces du marché fixent des températures différentes pour les pièces d'un même logement.
- Dans le cas où une paroi sépare deux bâtiments adjacents chauffés, on considérera, sauf spécifications contraires, qu'ils sont à la même température ; par conséquent, les déperditions à travers cette paroi sont nulles [1].

3.2. Coefficient k des parois opaques

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

Si la paroi est hétérogène, le coefficient K à utiliser dans les calculs est le coefficient K moyen de la paroi K_{moy} . Celui-ci est donné par formule ci-après [1]:

$$K_{moy} = \frac{\sum K_i A_i}{A_i} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (11)$$

Où :

- A_i (en m^2) est la surface de paroi dont le coefficient de transmission est égal à K_i .
- $\sum A_i$ (en m^2) est la surface intérieure totale de la paroi.

La méthode de calcul consiste en fait à décomposer la paroi en éléments homogènes dont on sait calculer le coefficient K .

3.2.1. Expression générale

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

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (12)$$



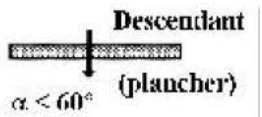
Où :

- $\sum R$ (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature du matériau, c'est à dire s'il est homogène ou non ;
- La somme $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la somme des coefficients d'échange superficiel.

Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieur $\frac{1}{h_i}$, et extérieur $\frac{1}{h_e}$, sont données dans le tableau (3)

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

Tableau 3 : Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieur et extérieur [1].

| $\frac{l}{h}$ en $m^2 \cdot ^\circ C/W$ | Paroi en contact avec : | | | Paroi en contact avec : | | |
|---|--|---------|-----------------|---|---------|-----------------|
| | - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert. | | | - un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, - un vide sanitaire. | | |
| | $1/h_i$ | $1/h_e$ | $1/h_i + 1/h_e$ | $1/h_i$ | $1/h_e$ | $1/h_i + 1/h_e$ |
|  Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$ | 0,11 | 0,06 | 0,17 | 0,11 | 0,11 | 0,22 |
|  Ascendant (toiture) $\alpha < 60^\circ$ | 0,09 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,18 |
|  Descendant (plancher) $\alpha < 60^\circ$ | 0,17 | 0,05 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,34 |

3.3. La résistance thermique

3.3.1. La résistance thermique d'une couche homogène

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

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (13)$$

Où :

- R_i (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) représente la résistance thermique de la couche i ,
- e_i (en m) représente l'épaisseur de la couche de matériau,
- λ_i (en $W/m \cdot ^\circ C$) représente la conductivité thermique du matériau. Les valeurs des conductivités thermiques sont soit tirées des tableaux donnés en [1], soit fournies par le document d'Avis Technique, ou à défaut fournies par le fabricant.

3.3.2. Résistance thermique d'une couche hétérogène

La résistance thermique d'une couche hétérogène est donnée directement en fonction de l'épaisseur de la couche de matériau. Les valeurs des résistances thermiques sont soit tirées des tableaux donnés en annexe 3 de la réglementation [1], soit fournies par le document d'Avis Technique, ou à défaut fournies par le fabricant [1].

3.3.3. Résistance thermique d'une lame d'air

La résistance thermique d'une lame d'air est obtenue à partir du tableau (4) [1] :

Tableau 4 : La résistance thermique de la lame d'air [1].

| Position de la lame d'air | Sens du flux de chaleur | Epaisseur de la lame d'air en mm | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | 5 à 7 | 8 à 9 | 10 à 11 | 12 à 13 | 14 à 24 | 25 à 50 | 55 à 300 |
| Horizontale | Ascendant | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| Verticale | | 0,11 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Horizontale | descendant | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,20 |

3.4. Coefficients k des parois vitrées

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

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{Vn}} + r_V + r_{rid} + r_{occ} \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W] \quad (14)$$

Où :

- K_{Vn} (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) représente le coefficient K du vitrage nu.
- r_V (en $m^2 \cdot ^\circ C / W$) représente la résistance supplémentaire des voilages éventuels ; on adopte $r_V = 0,025 m^2 \cdot ^\circ C / W$.
- r_{rid} (en $m^2 \cdot ^\circ C / W$) représente la résistance supplémentaire des rideaux éventuels ; on adopte $r_{rid} = 0,030 m^2 \cdot ^\circ C / W$;
- r_{occ} (en $m^2 \cdot ^\circ C / W$) représente la résistance supplémentaire des occultations.

Les occultations sont les systèmes associés aux vitrages dans le but de constituer une isolation thermique nocturne (volets, stores ...).

La résistance des occultations r_{occ} est donnée par la formule suivante :

$$r_{occ} = 0,16 + \frac{e_{occ}}{\lambda_{occ}} \quad (15)$$

Où :

- e_{occ} (en m) représente l'épaisseur de l'occultation.
- λ_{occ} (en W/m.°C) représente la conductivité thermique du matériau constituant l'occultation ; les valeurs des conductivités thermiques des différents matériaux de construction sont données en annexe 2 du règlementation [1].

Le coefficient K des parois vitrées de l'ensemble fenêtre-occultation est calculé en supposant qu'il existe une lame d'air immobile entre la fenêtre et l'occultation [1].

Les coefficients K_{Vn} des vitrages nus sont donnés dans le tableau (5)

Tableau 5 : Les coefficients de transmission K_{vn} des vitrages nus [1].

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

3.5. Coefficient k des portes

Les coefficients K (en W/m². °C) des portes courantes sont donnés dans le tableau (6) [1] :

Tableau 6 : Les coefficients de transmission K (en W/m².°C) des portes [1].

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

4. Déperditions à travers les ponts thermiques

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

$$D_{li} = K_l \times L \quad [W/°C] \quad (16)$$

Où :

- K_l (en W/m.°C) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison
- L (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

On distingue trois types de liaisons :

- Les liaisons entre un mur et une menuiserie extérieure ;
- Les liaisons de deux parois extérieures ;
- Les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure (refend/façade, cloison/façade, plancher/façade).

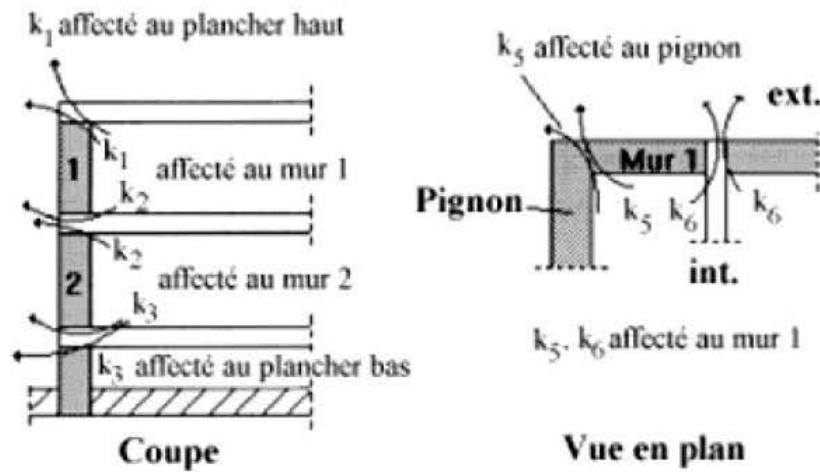


Figure 22 : schéma représentatif des ponts thermiques [1].

Tableau 7 : Les formules donnant les coefficients k_l linéiques [1].

| Liaison entre un mur et une menuiserie | | | |
|--|--|--|--|
| Schéma Vue en plan et Signification | | | |
| Valeurs de K_l | $\frac{0,9 \times e}{1,25 + R_m} \quad (17)$ | | $\frac{1,4 \times e}{1,25 + R_m} \quad (18)$ |
| Liaison entre deux parois extérieures | | | |
| Schéma Vue en plan et Signification | | | |
| Valeurs de K_l | $0,2 \times K \times e \quad (19)$ | | $0,45 \times e \quad (20)$ |

| Liaison entre une paroi extérieure et une paroi intérieure | |
|---|--|
| Schéma Vue en plan et Signification | |
| Valeurs de K_t | $\frac{0,4 \times e}{0,15 + R} \quad (21)$ |

On désigne par :

- e (en m) l'épaisseur du mur.
- K (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) la moyenne des coefficients K des deux parois.
- R_m (en $m^2 \cdot C/W$) la résistance thermique du mur.

5. Déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol

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

$$D_{sol} = K_s \times p \quad [W/^\circ C]$$

Où :

- K_s (en $W/m \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission linéique du plancher bas ou du mur.
- p (en m) est la longueur de la paroi.

Les valeurs des coefficients K_s sont données dans le tableau (8) en fonction de la différence de niveau, notée z .

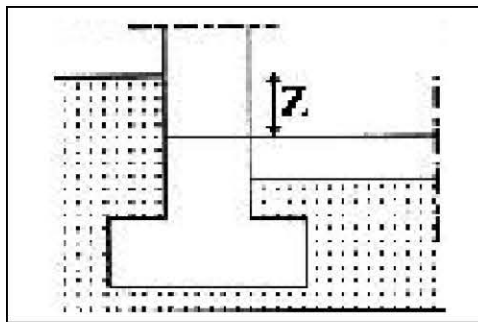


Figure 23 : schéma représentatif d'un plancher bas [1].

Tableau 8 : Les valeurs des coefficients K_s du plancher en fonction de la différence de niveau [1].

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

6. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation [1].

Par conventions, les déperditions par renouvellement d'airs sont considérées, pour l'établissement du bilan thermique, les déperditions par renouvellement d'air moyennes, c'est à dire les plus probables [1].

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte [1] :

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

6.1. Expression générale

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

$$D_R = 0,34 \times (Q_V + Q_S) \quad [W/°C] \quad (22)$$

Où :

- 0,34 (en Wh/m³.°C) est la chaleur volumique de l'air;
- Q_V (en m³/h) est le débit spécifique de ventilation ;
- Q_S (en m³/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

$0,34 \times Q_V$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées D_{RV} ; de même, $0,34 \times Q_S$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées D_{RS} [1].

6.2. Débit spécifique de ventilation

Le débit spécifique de ventilation Q_V est calculé par rapport au débit extrait de référence $Q_{Vréf}$.

Le débit extrait de référence $Q_{Vréf}$ est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente [1].

Une ventilation est dite générale (système de ventilation le plus courant) lorsque l'extraction de l'air vicié s'effectue dans les pièces de service (SDB, W-C, salle d'eau et cuisine). L'aération est considérée permanente car l'enveloppe d'un bâtiment n'est jamais parfaitement étanche à l'air. La détermination du débit spécifique de ventilation s'effectue de la même manière quel que soit le système de ventilation. En effet, ce débit est lié principalement aux exigences d'hygiène [1].

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

$$Q_V = \text{Max}[0,6 \times V_h ; Q_{Vréf}] \quad [m^3/h] \quad (23)$$

Où :

- V_h (en m^3) désigne le volume habitable ;
- $Q_{Vréf}$ (en m^3/h) désigne le débit extrait de référence.

On admet qu'en hiver les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de l'ordre de 0,6 fois le volume habitable par heure répondent aux exigences contradictoires de confort thermique, d'hygiène et d'économie d'énergie [1].

Le débit extrait de référence $Q_{Vréf}$ est donné par la formule suivante :

$$Q_{Vréf} = \frac{5 Q_{Vmin} + Q_{Vmax}}{6} \quad [m^3/h] \quad (24)$$

Où :

- Q_{Vmax} (en m^3/h) est le débit extrait maximal de référence,
- Q_{Vmin} (en m^3/h) est le débit extrait minimal de référence.

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

Les valeurs du débit extrait minimal de référence Q_{Vmin} , en fonction du nombre de pièces principales du logement, sont données dans le tableau (9)

Tableau 9 : Les valeurs du débit extrait minimal de référence en fonction du nombre de pièces principales du logement [1].

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

Le débit extrait maximal de référence Q_{Vmx} est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement, dont les valeurs sont données dans le tableau (10) :

Tableau 10 : Le débit extrait maximal de référence Q_{Vmax} de chaque pièce de service du logement [1].

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

6.3. Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent

Le débit supplémentaire dû au vent est déterminé en considérant seulement le débit d'air supplémentaire s'infiltrant par les ouvrants, et dont l'écoulement s'effectue de la façade au vent à la façade sous le vent. Les ouvrants concernés pour la détermination du débit supplémentaire dû au vent sont ceux faisant partie des parois extérieures, et ceux faisant partie des parois en contact avec des circulations ouvertes sur l'extérieur [1].

Le débit supplémentaire Q_s dû à l'effet du vent pour un logement est donné par la formule suivante [1] :

$$Q_s = \sum(P_{pi} \times e_{vi}) \quad [m^3/kg] \quad (25)$$

Où :

- P_{pi} (en m³/h. sous une différence de pression $\Delta P = 1$ Pa) est la perméabilité à l'air de la paroi i.
- e_{vi} (sans dimension) est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i.

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

$$P_{pi} = \sum(P_{0j} \times A_j) \quad [m^3/kg \text{ sous } \Delta P = 1 Pa] \quad (26)$$

Où :

- P_{0j} (en m³/h.m² sous $\Delta P = 1$ Pa) est la perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant j , c'est à dire le débit d'air traversant 1 m² de paroi sous une différence de pression ΔP de 1 Pa ; les valeurs de P_0 pour les ouvrants courants sont regroupées dans le tableau (11).
- A_j (en m²) est la surface de l'ouvrant j.

Tableau 11 : les valeurs de P_0 pour les ouvrants courants [1].

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

Le coefficient d'exposition au vent e_V est tiré du tableau (12) :

Tableau 12 : Le coefficient d'exposition au vent e_V [1]

| Hauteur H ⁽¹⁾ (m) | Classes de rugosité ⁽²⁾ | | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|
| | V | IV | III | II | I |
| H ≤ 4 | 0,40 | 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 | 3,50 | 4,80 | 5,80 | 6,93 | 9,02 |
| 30 < H 50 | 4,47 | 5,78 | 6,66 | 7,71 | 9,72 |

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

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

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

7. La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage

La consommation totale de chaleur pendant la période de chauffage (Q) dépend de ces deux grandeurs [24].

Si on désigne par :

- q : La consommation totale de chaleur du bâtiment par jour.
- $(T_{in} - T_{em})$: La différence entre la température à l'intérieur et la température extérieure moyenne.
- N : le nombre de jours de chauffage.

La consommation de chaleur de N jours de chauffage est :

$$Q = q \times N \times (T_{in} - T_{em}) \quad (27)$$

CHAPITRE III

Application: étude d'un local, résultats et interprétation

1. Méthodologie

La méthodologie de calcul du bilan thermique repose sur le processus suivant : (figure 24)

1. Evaluation des coefficients globaux de transmission thermique
2. Calcul des déperditions surfaciques
3. Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques
4. Calcul des déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol
5. Calcul des déperditions par renouvellement d'air
6. Calcul des déperditions thermiques totales
7. Calcul de la puissance de chauffage nécessaire
8. Calcul des surfaces des capteurs

Pour effectuer ce calcul quelques hypothèses sont fixées :

- On suppose un régime permanent
- Température intérieure de base fixée en fonction des besoins des locaux 24 °C
- Température extérieure : température de base hiver pour le calcul de la puissance de chauffage ou température mensuelle pour le calcul de la consommation de chauffage. Cette température est de plus fonction de la région et de l'altitude.
- Les déperditions sont calculées en régime stationnaire et indépendamment du système de chauffage

Tous les calculs et les figures sont effectués à l'aide du programme Excel 2016, en basant sur le document technique réglementaire (D.T.R.C 3-2) algérien relatif à réglementation thermique des bâtiments d'habitation [1].

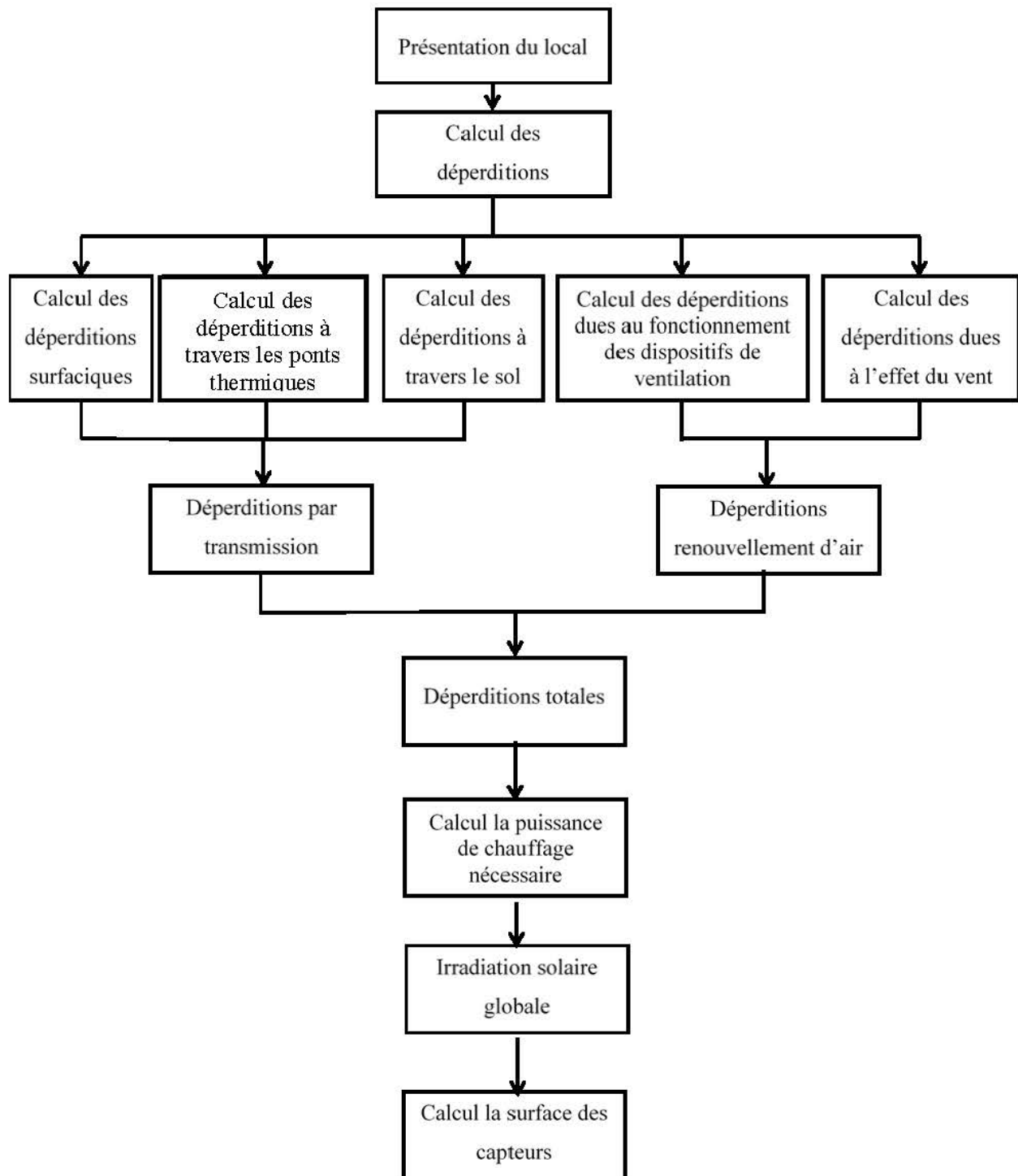


Figure 24 : Organigramme de méthodologie.

2. Présentation du cas d'étude

Il s'agit d'une habitation individuelle située dans la ville de Biskra. Biskra située dans la zone Nord-Est du Sahara. La région de Biskra est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Sud par les wilayas de Ouargla, d'El Oued, et de Laghouat, à l'Est par la wilaya de Khenchela et à l'Ouest les wilayas de Djelfa et M'sila.

Biskra est caractérisée par un climat chaud et aride. La température moyenne annuelle est de 22.68 °C, la température moyenne minimale est enregistrée en mois janvier de l'ordre de 6,82 °C et une température moyenne maximale pendant le mois de juillet de l'ordre de 40,69 °C (pour la période 1990-2007) [30].

Le cas d'étude est une habitation individuelle bâtie sur une assiette de 156 m², dont deux façades adjacentes donnent sur deux rues (Est et Nord) (figure 25) ; et deux murs mitoyens. Elle est composée de deux niveaux : le R-D-C (Figure 27), constituant la partie jour comportant un séjour familial, une salle de réception, une cuisine, une salle de bain, un patio et le 1^{er} étage (Figure 28), constituant la partie nuit : 04 chambres, une salle de bain et un séjour.

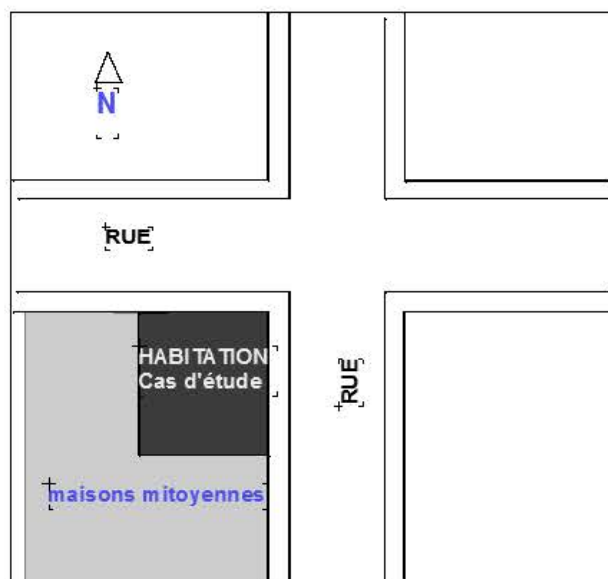


Figure 25 : Plan de situation du cas d'étude.

La construction est d'une structure poteau/poutre et de planchers en béton armé. La maçonnerie, principalement les murs extérieurs (enveloppe) sont en briques. Ces murs sont composés de deux parois en briques de 15 et 10 cm avec une lame d'air de 5cm. Le revêtement de ces murs est en enduit de mortier pour la face extérieure et en enduit de plâtre pour la face intérieure (Figure 29). Les portes et les fenêtres sont en aluminium avec un vitrage simple. Le plancher de toiture est de 40 cm d'épaisseur. Il est constitué d'une dalle à corps creux (hourdis) de 20 cm, en béton armé, une couche de polystyrène expansé de 5cm, d'une nappe de sable sec de 5cm et une couche de béton plein de 5cm (Figure 26).

- La hauteur des murs : 2.80 m
- La surface habitable : 171.39 m²
- L'aire des murs extérieurs : 274,92 m²
- L'aire des parois vitrées : 18,10 m²

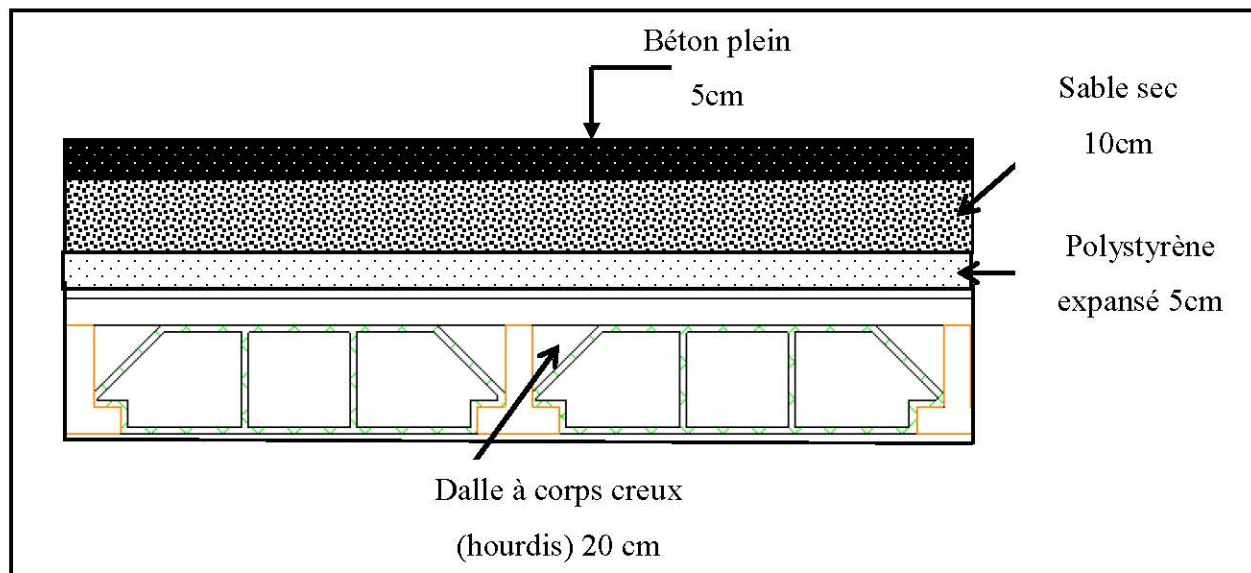


Figure 26 : Coupe schématique de la dalle.

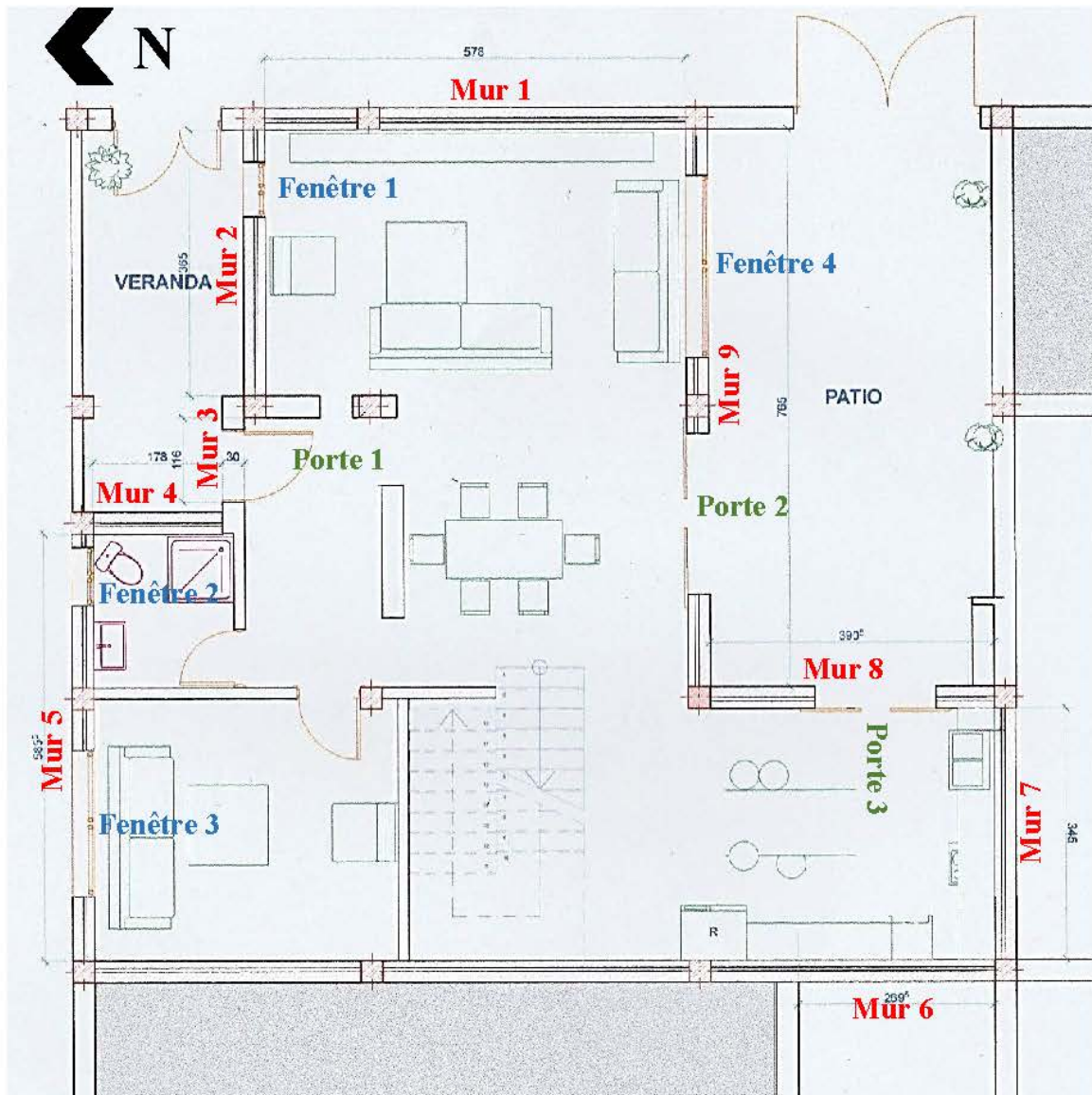


Figure 27 : Plan R-D-C du cas d'étude.

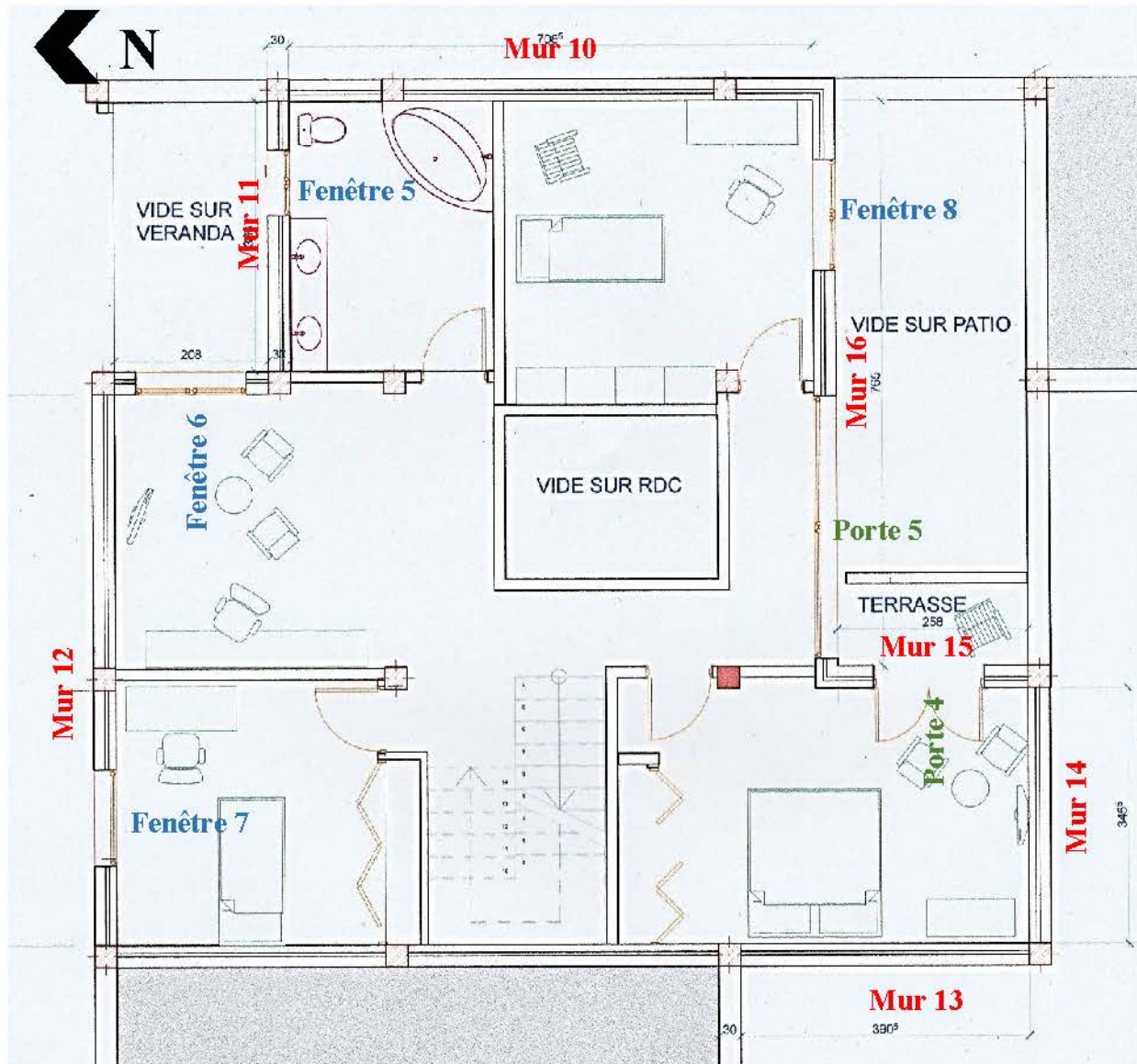


Figure 28 : Plan 1er étage du cas d'étude.

3. Calcul et résultats

3.1. Calcul des déperditions

3.1.1. Calcul des déperditions surfaciques

A. Les murs

La figure (29) représenté la construction des murs qui sont en double briques avec une lame d'air, recouverts par une couche fine d'enduit mortier du ciment sur la face extérieure et une couche d'enduit plâtre sur la face interne.

Les déperditions des murs sont données dans le tableau (13) :

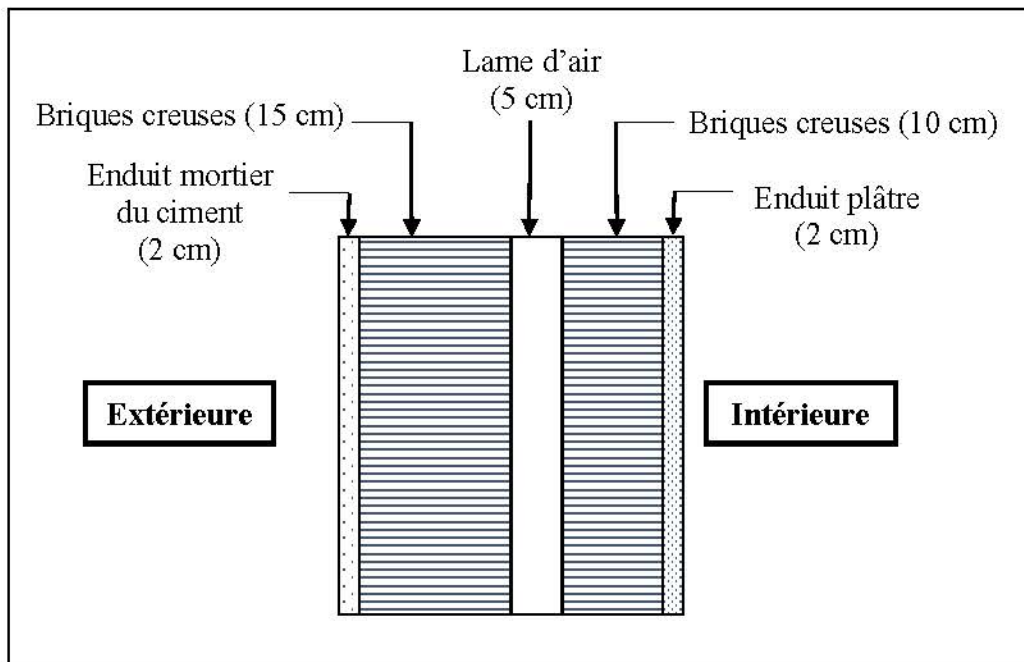


Figure 29 : Coupe schématique du mur.

Tableau 13 : les résultats des déperditions à travers les murs.

| Les parois extérieures | L (m) | A (m ²) | R (m ² ·C°/W) | $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ | K (W/m ² ·°C) | D_s (W/C°) |
|------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Mur 1 | 5,78 | 16,18 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 19,04 |
| Mur 2 | 3,65 | 8,35 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 9,82 |
| Mur 3 | 1,16 | 1,15 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 1,35 |
| Mur 4 | 1,78 | 4,98 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 5,86 |
| Mur 5 | 5,85 | 12,86 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 15,13 |
| Mur 6 | 2,69 | 7,53 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 8,86 |
| Mur 7 | 3,45 | 9,66 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 11,36 |
| Mur 8 | 3,90 | 7,35 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 8,65 |
| Mur 9 | 7,65 | 12,80 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 15,06 |
| Mur 10 | 7,08 | 19,82 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 23,32 |
| Mur 11 | 3,66 | 9,89 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 11,63 |
| Mur 12 | 2,08 | 2,82 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 3,32 |
| Mur 13 | 7,45 | 18,52 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 21,79 |
| Mur 14 | 3,90 | 10,92 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 12,85 |
| Mur 15 | 3,45 | 9,66 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 11,36 |
| Mur 16 | 2,58 | 4,07 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 4,79 |
| Mur 17 | 7,65 | 9,90 | 0,68 | 0,17 | 1,18 | 11,65 |
| Toiture | / | 108,45 | 1,70 | 0,14 | 0,54 | 58,94 |
| Total | | | | | | 254,79 |

B. Les fenêtres : les fenêtres sont en métal et en vitrage simple**Tableau 14** : les résultats des déperditions à travers les fenêtres.

| Les fenêtres | A (m ²) | K_{vn} | K (W/m ² ·°C) | D_s (W/C°) |
|--------------|--------------------------|----------|-------------------------------|-----------------|
| Fenêtre 1 | 1,88 | 5,80 | 4,40 | 8,24 |
| Fenêtre 2 | 0,32 | 5,80 | 4,40 | 1,41 |
| Fenêtre 3 | 3,20 | 5,80 | 4,40 | 14,07 |
| Fenêtre 4 | 4,00 | 5,80 | 4,40 | 17,59 |
| Fenêtre 5 | 0,36 | 5,80 | 4,40 | 1,58 |
| Fenêtre 6 | 3,00 | 5,80 | 4,40 | 13,19 |
| Fenêtre 7 | 2,34 | 5,80 | 4,40 | 10,29 |
| Fenêtre 8 | 3,00 | 5,80 | 4,40 | 13,19 |
| Total | | | | 79,57 |

C. Les portes : les portes sont en métal

Tableau 15 : les résultats des déperditions à travers les portes.

| Les portes | A (m^2) | K ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | D_s (W/C°) |
|--------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Porte 1 | 2,10 | 5,80 | 12,18 |
| Porte 2 | 4,62 | 5,80 | 26,80 |
| Porte 3 | 3,57 | 5,80 | 20,71 |
| Porte 4 | 3,15 | 5,80 | 18,27 |
| Porte 5 | 8,52 | 5,80 | 49,42 |
| Total | | | 127,37 |

- Déperdition surfaciques $D_s = 461,73 [W/^\circ C]$

3.1.2. Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques

A. Liaison entre un mur et une menuiserie : tous les menuiseries sont au nu intérieur

Tableau 16 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre un mur et une menuiserie.

| Liaisons | L (m) | e (m) | R_m ($m^2 \cdot C^\circ/W$) | K_l ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | D_{li} (W/C°) |
|--------------------|----------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Mur 2 / Fenêtre 1 | 6,50 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,03 |
| Mur 5 / Fenêtre 2 | 2,40 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,38 |
| Mur 5 / Fenêtre 3 | 7,20 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,14 |
| Mur 9 / Fenêtre 4 | 8,20 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,30 |
| Mur 11 / Fenêtre 5 | 2,60 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,41 |
| Mur 12 / Fenêtre 6 | 7,00 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,11 |
| Mur 13 / Fenêtre 7 | 6,20 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,98 |
| Mur 17 / Fenêtre 8 | 7,00 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,11 |
| Mur 2 / Porte 1 | 5,20 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,82 |
| Mur 9 / Porte 2 | 6,40 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,01 |
| Mur 8 / Porte 3 | 5,90 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,94 |
| Mur 16 / Porte 4 | 5,70 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 0,90 |
| Mur 17 / Porte 5 | 8,35 | 0,34 | 0,68 | 0,16 | 1,32 |
| Total | | | | | 12.47 |

B. Liaison entre deux parois extérieures

Tableau 17 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre deux parois extérieures.

| | Nombre de liaison | L (m) | K ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | e (m) | K_l ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | D_{li} (W/C°) |
|---|-------------------|------------|-----------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Mur/Poteau/Mur | 12,00 | 2,80 | / | 0,34 | 0,15 | 10,28 |
| Parois identiques | 3,00 | 2,80 | 0,68 | 0,34 | 0,06 | 0,94 |
| Mur 1 ^{er} étage / Chaînage /Toiture | / | 37,85 | / | 0,40 | 0,18 | 13,63 |
| Mur RDC/Chaînage/Plancher bas | / | 35,91 | / | 0,40 | 0,18 | 12,93 |
| Total | | | | | | 37,61 |

C. Liaison entre une paroi extérieure et une paroi intérieure

Tableau 18 : Les résultats des déperdition à travers les liaison entre une paroi extérieure et une paroi intérieure

| | L (m) | R ($m^2 \cdot C^\circ / W$) | e (m) | K_l ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | D_{li} (W/C°) |
|--|------------|------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Murs rez-de-chaussée / Plancher haut | 37,85 | 0,16 | 0,20 | 0,26 | 9,77 |
| Murs 1 ^{er} étage / plancher haut | 35,91 | 0,16 | 0,20 | 0,26 | 9,27 |
| Total | | | | | 19,03 |

- Déperditions à travers les ponts thermiques $D_{li} = 69,12 [W/^\circ C]$

3.1.3. Calcul des déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol

Le plancher bas du local est sur terre-plein et sans isolation spécifique.

Tableau 19 : le résultat des déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol

| | P (m) | K_{sol} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | D_{sol} (W/C°) |
|--------------|------------|---|------------------------------|
| Plancher bas | 45,57 | 1,75 | 79,75 |

- Déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol

$$D_{sol} = 79.75 [W/°C]$$

3.1.4. Calcul des déperditions par renouvellement d'air

Les portes sont sans une seuil et joint d'étanchéité. Etant donné que notre local est situé dans une zone urbaine et la hauteur moyenne de la distance entre le sol et la mi-hauteur des ouvrants inférieure à 4 mètres, le coefficient d'exposition au vent e_v égale à 1,47.

Tableau 20 : les résultats des déperditions par renouvellement d'air

| | P_{oj} | $A_j (m^2)$ | P_{pi} |
|-----------|----------|--------------|---------------|
| Fenêtre 1 | 4,00 | 1,88 | 7,50 |
| Fenêtre 2 | 4,00 | 0,32 | 1,28 |
| Fenêtre 3 | 4,00 | 3,20 | 12,80 |
| Fenêtre 4 | 4,00 | 4,00 | 16,00 |
| Fenêtre 5 | 4,00 | 0,36 | 1,44 |
| Fenêtre 6 | 4,00 | 3,00 | 12,00 |
| Fenêtre 7 | 4,00 | 2,34 | 9,36 |
| Fenêtre 8 | 4,00 | 3,00 | 12,00 |
| Porte 1 | 6,00 | 2,10 | 12,60 |
| Porte 2 | 6,00 | 4,62 | 27,72 |
| Porte 3 | 6,00 | 3,57 | 21,42 |
| Porte 4 | 6,00 | 3,15 | 18,90 |
| Porte 5 | 6,00 | 8,52 | 51,12 |
| | | Total | 204,14 |

| V_h (m^3) | Q_{vmin} (m^3/h) | Q_{vmax} (m^3/h) | Q_{vref} (m^3/h) | Q_v (m^3/h) | Q_s (m^3/h) | D_R ($W/°C$) |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 479,80 | 130,00 | 195,00 | 140,83 | 287,88 | 300,09 | 199,09 |

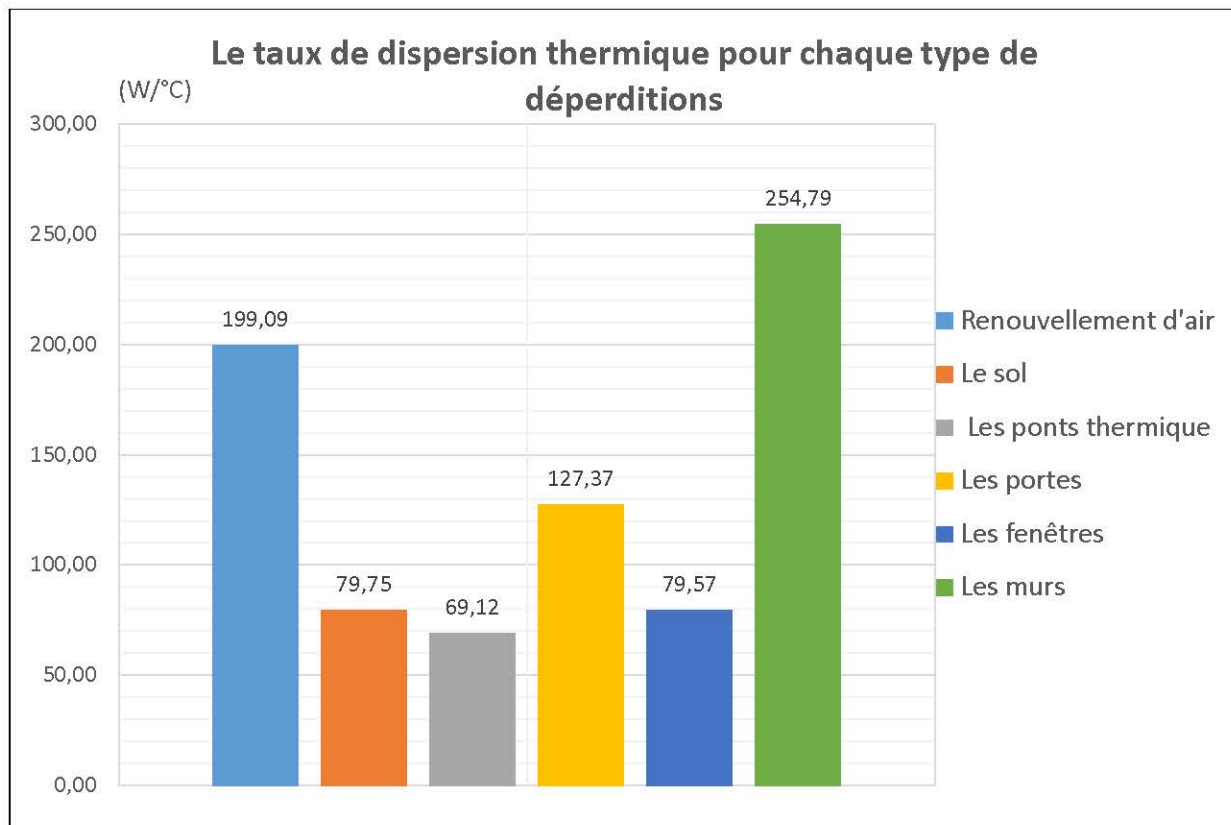
- Déperditions par renouvellement d'air

$$D_R = 199.09 [W/°C]$$

Résultat finale :*Tableau 21 : Les déperditions totales*

| | Le taux en [W/°C] |
|--|-------------------|
| Déperditions par transmission | 610,59 |
| Déperditions par renouvellement d'air | 199,09 |
| Déperditions de référence | 1090,1 |
| Déperditions totales du local | 810,5 |

Les déperditions totales du local égale à $D = 810,5$ [W/°C]. On remarque que les déperditions totales sont inférieures aux déperditions de référence. Ainsi, **cette construction respect la norme algérienne.**

*Figure 30 : Le taux de dispersion thermique pour chaque type de déperditions.*

Le taux des déperditions thermiques du cas d'étude en l'occurrence la maison individuelle est calculé selon cinq niveaux : le renouvellement d'air, le sol, les ponts thermiques, les portes, les fenêtres et les murs.

Les résultats, présentés dans la figure (30 et 31) montrent que la haute déperdition est principalement produite par les murs avec $254,79 \text{ W/}^\circ\text{C}$, représentant un taux de 31% de la déperdition globale. Elle est suivie par la déperdition due au renouvellement d'air de l'habitation avec une valeur $199,09 \text{ W/}^\circ\text{C}$, avec un taux de 25%. Les portes constituent la troisième importante source de déperdition avec une valeur de $127,37 \text{ W/}^\circ\text{C}$, soit 16%. Par contre, le sol, les ponts thermiques et les fenêtres produisent de déperditions moins importantes ; respectivement $79,75 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (10%), $69,12$ (8%) et $79,57 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (10%). Il est important à signaler que, ensemble, ces derniers représentent un taux de déperdition de 28% ; approximativement égale à la déperdition produite par les murs ou le renouvellement d'air. Il est aussi important à préciser que 26 % de la déperdition globale, du présent cas d'étude, se fait par les fenêtres et les portes.

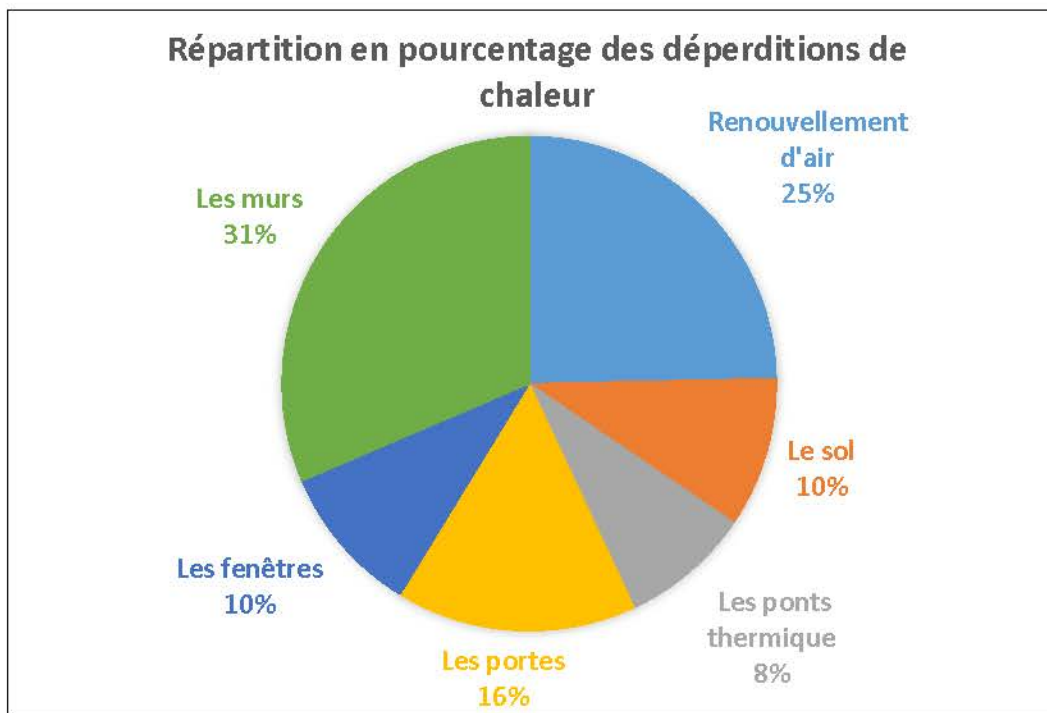


Figure 31: Répartition en pourcentage des déperditions de chaleur.

Dans le but de réduire les déperditions produites par cette habitation, on a procédé à des simulations intervenant sur la composition des fenêtres, des portes et des murs, comme étant les éléments présentant cumulativement un taux de déperdition de 57% ; pour mesurer l'impact de chacun sur la performance thermique de l'habitation.

La première simulation relative aux fenêtres Figure (32), deux paramètres sont considérés : les matériaux et le vitrage. En plus des fenêtres du présent cas d'études qui sont en métal avec un vitrage simple, la simulation va considérer aussi le bois comme matériau en les corrélant à un double vitrage de différentes épaisseurs de la lame d'air. Les résultats que le choix du matériau lui seul, par rapport à la même épaisseur du vitrage (lame d'air), présente une légère différence, le bois présente moins de déperdition (801,9 W/°C) que le métal (810,5 W/°C) pour le vitrage simple. À l'opposé, l'agrandissement de l'épaisseur du vitrage influe sensiblement sur la réduction des déperditions totales, principalement pour le passage du simple vitrage au double vitrage de 5 à 7 mm ; pour le bois de 801,9 à 781,48 W/°C et pour le métal de 810,5 à 790,26 W/°C. Mais d'après la figure (32), le niveau des déperditions totales est presque constant (légère baisse) pour les différentes épaisseurs de la lame d'air du double vitrage (5 à 7 mm, 8 à 9 mm, 10 à 11 mm, 12 à 13 mm). Néanmoins, pour la double fenêtre, la chute de la valeur des déperditions est très remarquable ; elle passe de 786,57 à 754,89 W/°C pour celle en métal et de 776,19 à 749,45 W/°C.

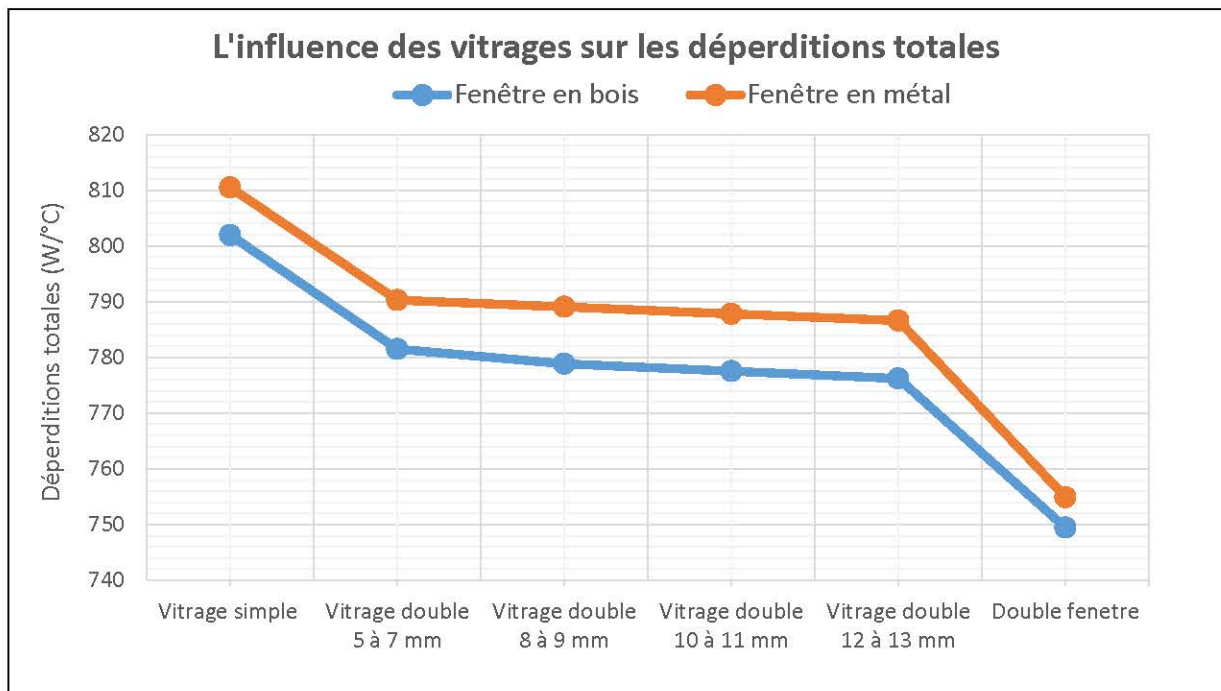


Figure 32 : L'influence des vitrages sur les déperditions totales (les valeurs en millimetres sont l'épaisseur de la lame d'aire)

Simulation des portes figure (33), La simulation examine la performance thermique des portes en corrélation avec le type de matériau (bois ou métal), l'étanchéité (avec ou sans seuil et joint d'étanchéité) ainsi que la composition relative à l'opacité, et le degré de transparence (pourcentage du vitrage).

On constate que le locale en portes métalliques produisent une déperdition de l'ordre de 728,07 W/°C, supérieur à celle des portes en bois opaques 677,56 W/°C, soit un écart avoisinant 50 W/°C. Néanmoins, cet écart diminue simultanément avec l'augmentation de la transparence (le pourcentage du vitrage). En d'autres termes, plus le pourcentage du vitrage augmente dans les portes en bois plus la déperdition augmente et avoisine celle des portes métalliques.

La figure (33) montre aussi que le seuil et le joint d'étanchéité améliore remarquablement la déperdition des portes en dépit de leurs design (opaque ou transparent) et matériaux ; une diminution d'une valeur qui avoisine 84 W/°C.

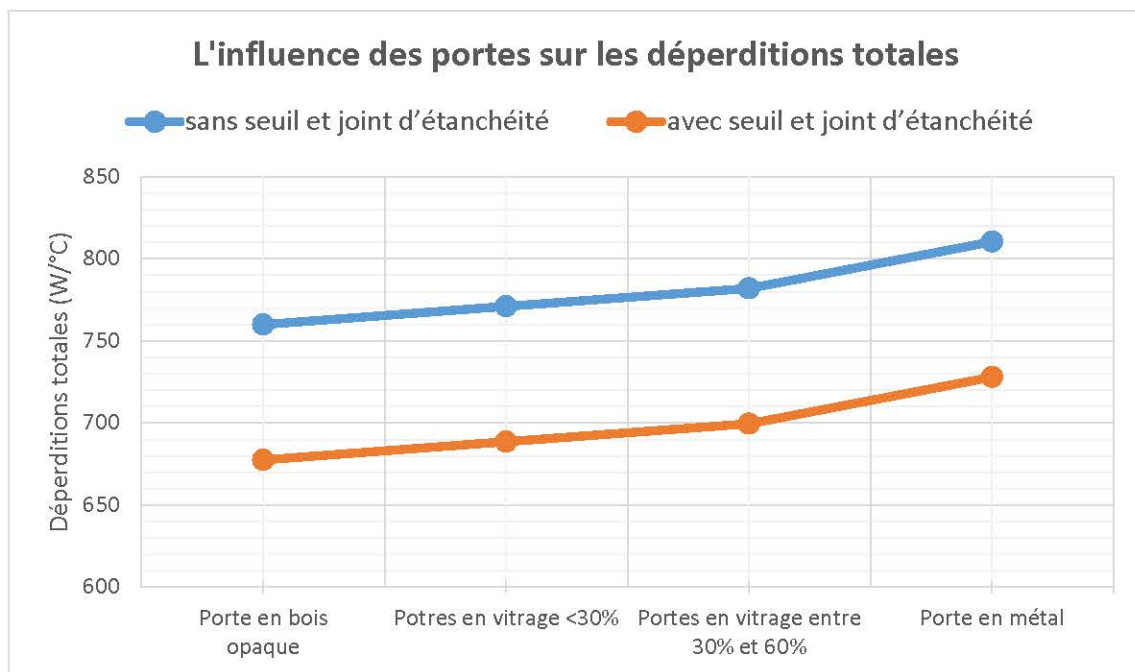


Figure 33 : L'influence des portes sur les déperditions totales.

Simulations des murs extérieurs figure (34) : Les murs extérieurs constituent la grande partie de l'enveloppe du bâtiment en contact avec l'environnement extérieur, leurs matériaux et détails (épaisseur et composition) impactent considérablement sur sa performance thermique ; l'isolation est un facteur déterminant.

Pour le présent cas d'études les murs extérieurs sont composés de doubles parois (briques de 15 cm et 10) cm d'avec une lame d'air (non ventilée) de 05 cm ; ainsi qu'un revêtement extérieur en enduit de mortier et intérieur en enduit de plâtre.

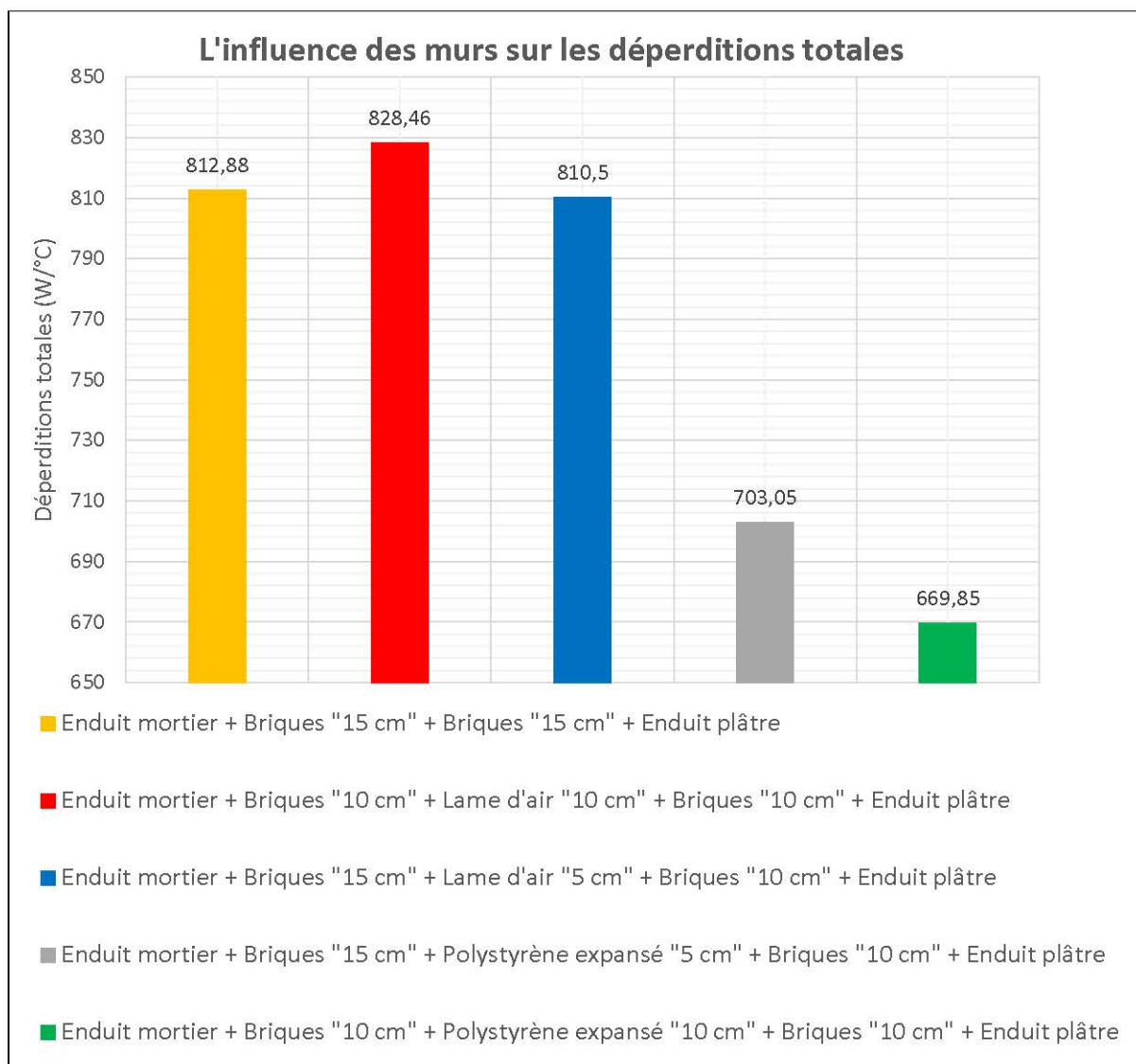


Figure 34 : L'influence des murs sur les déperditions totales.

La simulation faite sur les murs extérieurs consiste à faire varier les épaisseurs des composants des murs extérieurs, les deux parois en briques et la lame d'air, tout en gardant l'épaisseur du mur constante (30 cm + enduits) ainsi que les mêmes enduits extérieurs et intérieurs. L'objectif est de voir s'il y a une corrélation entre la composition du mur et sa performance thermique.

Le premier cas considère un mur composé de deux parois en brique de 10 cm avec une lame d'air de 10 cm (en rouge dans la figure 34). On constate que la déperdition est plus importante que celle des murs de présent cas d'étude (deux parois en briques de 15 et 10 cm avec une lame d'air de 05 cm)

Le deuxième cas simule un mur de double parois (2 x briques de 15 cm) sans lame d'air. Les résultats montrent que les déperditions sont assez élevée avec une valeur de 812,88 W/°C, presque égale à celle des murs du cas d'étude (810,5 W/°C).

Le troisième cas consiste en un mur composé deux parois en briques (15 et 10 cm) avec au milieu une couche de polystyrène expansé d'une épaisseur de 5 cm. Les résultats présentent une baisse drastique de la valeur des déperditions (703,5 W/°C) ; une baisse d'environ 100 W/°C par rapport aux cas précédents

La quatrième simulation suppose un mur de de deux parois en briques de 10 cm avec au milieu une couche de polystyrène expansé de 10 cm. Ce type de mur a donné les meilleurs résultats, la valeur de déperdition est passé en decrescendo à 669,85 W/°C ; soit 15% moins que celle des murs existants dans le cas d'étude.

D'après ces résultats, il semble que le polystyrène expansé, connu pour ses performances thermiques, limiterait énormément la déperdition des murs plus que les murs avec la lame d'air ou sans lame d'air (massif). Sa performance augmente avec son épaisseur ; plus la couche de polystyrène est épaisse plus la déperdition est moindre, une bonne isolation, comme il est montré dans la troisième et la quatrième simulation.

Il faudrait rappeler que ces simulations sont faites à titre expérimentale pour investiguer la meilleure composition du mur qui limiterait mieux les déperditions. Alors, ces résultats pourraient être exploités seulement dans des futures constructions. Cependant, Malgré les performances énergétiques du polystyrène expansé, il est aussi important et recommandé de considérer les autres

propriétés de ce matériau tels que son inflammabilité ; ses performances phoniques faibles, sa non durabilité ainsi que sa faisabilité économique.

3.2. Puissance de chauffage nécessaire

Dans le cas de chauffage discontinu, les constructions dont la classe d'inertie est moyenne « $c_{in} = 0,15$ » et pour les installations de type chauffage centrale dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées « $c_r = 0,05$ », La puissance de chauffage nécessaire égale $Q = 912,08 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (Equation 9) ; pour une différence de 1°C entre la température extérieure et la température intérieure « $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ ».

3.2.1. Températures ambiantes mensuelles

Après avoir déterminé les déperditions totales ainsi que la puissance de chauffage et pour simplifier le problème on considère essentiellement la température ambiante moyenne mensuelles telle qu'elle apparaît dans les relevés effectués par les services de la météorologie (infoclimat [31]) pendant l'année 2016 (figure 35). La connaissance de la température de la ville de Biskra est nécessaire pour le chauffage d'un site.

La ville de Biskra est une ville Saharienne qui se situe au sud-est de l'Algérie. Elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été. Les caractéristiques géographiques de la ville sont :

- La latitude = 34.48 N.
- La longitude = 5.44 E.
- L'altitude qui est égale à 128 m au-dessus du niveau de la mer.

D'après la figure 35 illustrant la température ambiante mensuelle et la température de confort d'hiver estimée à 24° , on constate que la température ambiante est en dessous de celle du confort d'hiver pendant une période de six mois, du mois de novembre au mois d'avril. La température ambiante minimale est enregistrée au mois de janvier (13.4°C) tandis que la maximale est au mois d'avril (22.7°C), avoisinant la température de confort. Ainsi, le chauffage est requis pendant cette période pour assurer une température de confort d'hiver. Néanmoins, on pourrait dire que le besoin en chauffage est extrêmement nécessaire pendant 5 mois (novembre-mars) où la température ambiante est en dessous de $17,5^\circ\text{C}$ c.-à-d. plus de $6,5^\circ\text{C}$ moins que la température de confort.

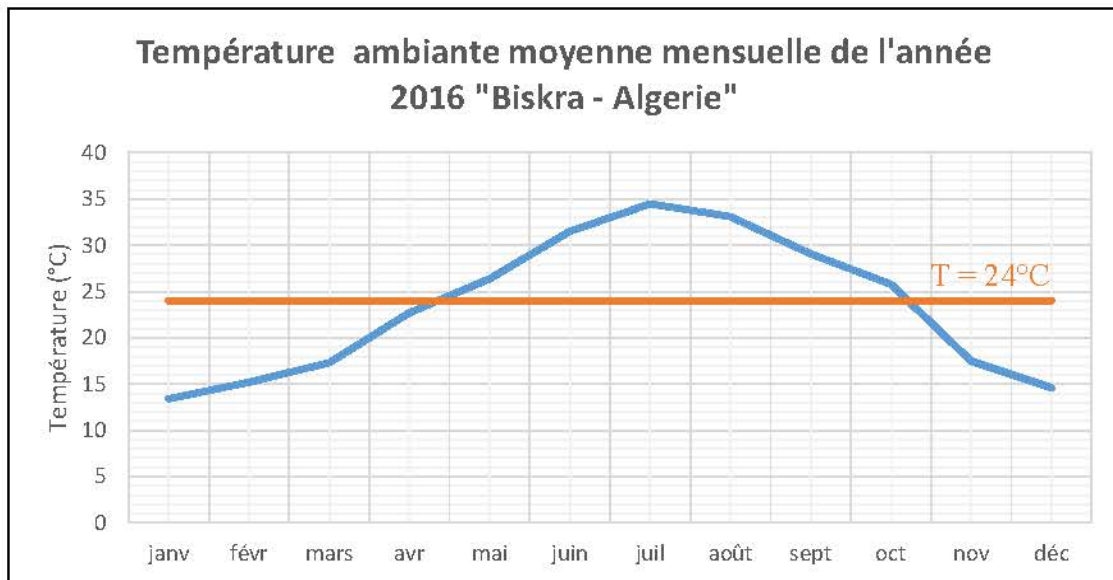


Figure 35 : Température ambiante moyenne mensuelle de l'année 2016 « Biskra – Algérie »

3.2.2. La consommation de chauffage moyenne mensuelle

En conséquence, les résultats de la consommation d'énergie de chauffage moyenne mensuelle (2016), calculé selon l'équation (27), montrent que la consommation est plus importante pendant les mois de janvier, février et décembre ; avec un pic de consommation enregistrée au mois de janvier de l'ordre de 7193,03 Kwh (figure 36) suivi par celle de décembre (6378,72 Kwh) et de février (5971,57 Kwh). Alors que, elle est approximativement la même pendant novembre (4410,82 Kwh) et mars (4546,54 Kwh) et très faible au mois d'avril avec une valeur de 882,16 Kwh. **La consommation de chauffage totale pour le cas d'étude est évaluée à 29382,84 Kwh.**

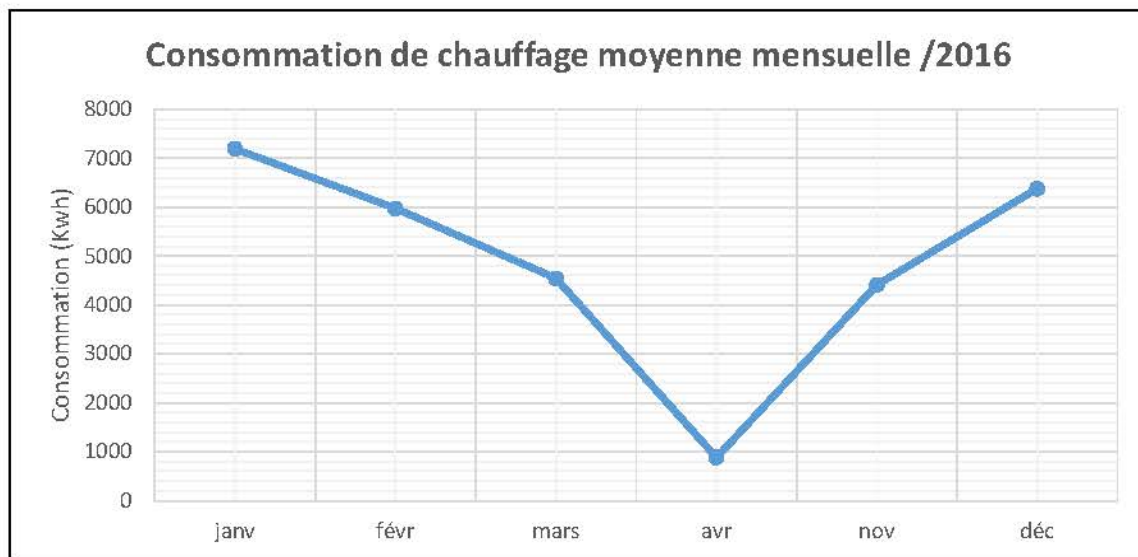


Figure 36 : Consommation de chauffage moyenne mensuelle /2016.

3.3. Irradiation solaire

Les valeurs d'irradiation globale relatives à la ville Biskra sont calculées à l'aide d'une application web pour le calcul de rayonnement solaire (ciel clair) en Algérie, hébergé dans le site CDER (centre de développement des énergies renouvelables, en Algérie) [32]. Le calcul a été effectué selon une orientation Sud avec une inclinaison de 45° par rapport à l'horizontale, pendant les six mois où le chauffage est requis pour le cas d'étude. Les valeurs d'irradiation journalière de ces mois sont portées dans le tableau 22.

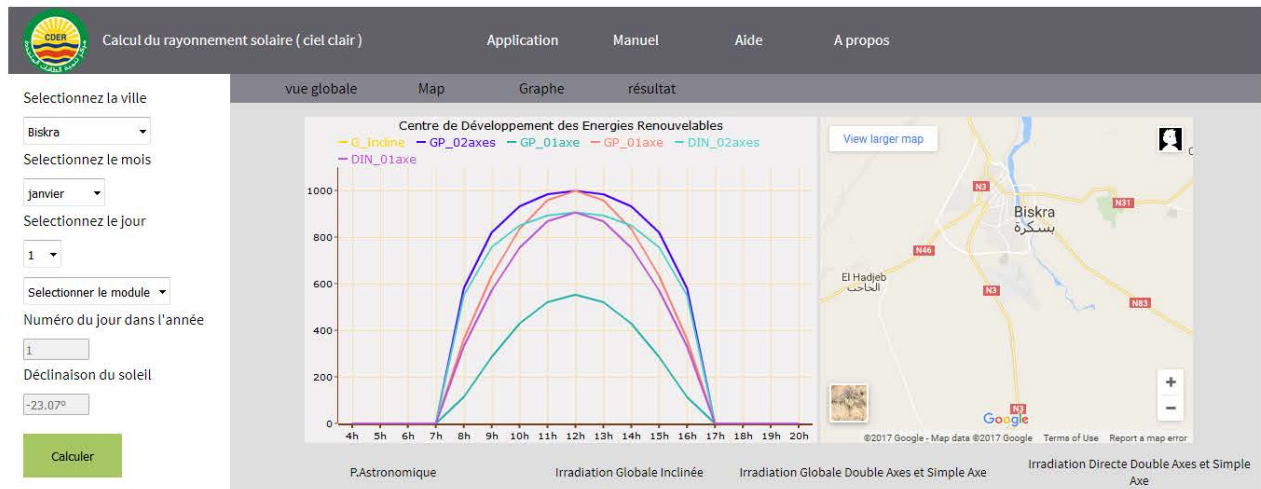


Figure 37: Site pour le calcul du rayonnement solaire.

| P.Astronomique | | | Irradiation Globale Inclinée | |
|----------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------|
| heures TSV | Azimuth du soleil | Hauteur du soleil | G-inclinée | P.électrique |
| 4h00 | -85.7° | 0.0° | 0 | 0 |
| 5h00 | -78.2° | 0.0° | 0 | 0 |
| 6h00 | -70.7° | 0.0° | 0 | 0 |
| 7h00 | -62.8° | 0.0° | 0 | 0 |
| 8h00 | -53.7° | 8.9° | 317 | 0 |
| 9h00 | -43.2° | 18.1° | 593 | 0 |
| 10h00 | -30.6° | 25.5° | 798 | 0 |
| 11h00 | -16.0° | 30.4° | 925 | 0 |
| 12h00 | 0.0° | 32.1° | 968 | 0 |
| 13h00 | 16.0° | 30.4° | 925 | 0 |
| 14h00 | 30.6° | 25.5° | 798 | 0 |
| 15h00 | 43.2° | 18.1° | 593 | 0 |
| 16h00 | 53.7° | 8.9° | 317 | 0 |
| 17h00 | 62.8° | 0.0° | 0 | 0 |
| 18h00 | 70.7° | 0.0° | 0 | 0 |
| 19h00 | 78.2° | 0.0° | 0 | 0 |
| 20h00 | 85.7° | 0.0° | 0 | 0 |
| | | | 6234 Wh/m ² | 0 Wh/kWc |
| | | | Inclinaison: 45 | |
| | | | Orientation: 0 | |

Figure 38 : Résultat du rayonnement solaire.

Tableau 22 : Irradiation globale par jour en (Wh/m²) [32].

| Jour | Irradiation globale /jour en (Wh/m ²) | | | | | |
|------------|---|---------|------|-------|----------|----------|
| | janvier | février | mars | avril | novembre | décembre |
| j1 | 6234 | 6996 | 7566 | 7604 | 6652 | 6140 |
| j2 | 6248 | 7021 | 7581 | 7594 | 6635 | 6136 |
| j3 | 6263 | 7047 | 7591 | 7589 | 6618 | 6127 |
| j4 | 6279 | 7075 | 7599 | 7579 | 6599 | 6125 |
| j5 | 6293 | 7101 | 7608 | 7569 | 6584 | 6116 |
| j6 | 6309 | 7125 | 7618 | 7561 | 6567 | 6114 |
| j7 | 6326 | 7151 | 7624 | 7549 | 6549 | 6110 |
| j8 | 6344 | 7175 | 7630 | 7535 | 6530 | 6106 |
| j9 | 6362 | 7201 | 7636 | 7525 | 6511 | 6105 |
| j10 | 6380 | 7224 | 7644 | 7515 | 6494 | 6099 |
| j11 | 6400 | 7248 | 7648 | 7503 | 6475 | 6099 |
| j12 | 6418 | 7270 | 7652 | 7491 | 6460 | 6097 |
| j13 | 6436 | 7294 | 7654 | 7475 | 6441 | 6099 |
| j14 | 6457 | 7315 | 7657 | 7466 | 6426 | 6100 |
| j15 | 6475 | 7337 | 7661 | 7452 | 6408 | 6100 |
| j16 | 6493 | 7358 | 7658 | 7440 | 6391 | 6100 |
| j17 | 6517 | 7378 | 7660 | 7421 | 6372 | 6107 |
| j18 | 6535 | 7399 | 7661 | 7409 | 6357 | 6109 |
| j19 | 6558 | 7415 | 7658 | 7395 | 6340 | 6114 |
| j20 | 6672 | 7436 | 7655 | 7382 | 6325 | 6116 |
| j21 | 6700 | 7451 | 7656 | 7362 | 6310 | 6123 |
| j22 | 6726 | 7470 | 7655 | 7349 | 6295 | 6128 |
| j23 | 6753 | 7487 | 7650 | 7333 | 6280 | 6137 |
| j24 | 6779 | 7500 | 7647 | 7316 | 6269 | 6146 |
| j25 | 6809 | 7515 | 7642 | 7302 | 6190 | 6153 |
| j26 | 6833 | 7528 | 7641 | 7287 | 6182 | 6162 |
| j27 | 6860 | 7543 | 7636 | 7266 | 6171 | 6171 |
| j28 | 6888 | 7557 | 7628 | 7250 | 6162 | 6180 |
| j29 | 6914 | 7560 | 7625 | 7235 | 6159 | 6189 |
| j30 | 6942 | 0 | 7619 | 7219 | 6149 | 6201 |
| j31 | 6968 | 0 | 7612 | 0 | 0 | 6216 |

| Irradiation globale /mois en (kWh/m ²) | | | | | |
|--|---------|--------|--------|----------|----------|
| janvier | février | mars | avril | novembre | décembre |
| 203,17 | 212,18 | 236,67 | 222,97 | 191,90 | 190,03 |

3.4. Calcul des surfaces des capteurs solaires

Tableau 23 : Les surfaces des capteurs solaires.

| Mois | Rendement du capteur | Irradiation globale (kWh/m ²) | Puissance absorbée par le capteur (kWh/m ²) | consommation de chauffage (kWh) | Surface des capteurs (m ²) | |
|----------|----------------------|---|---|---------------------------------|--|----|
| Janvier | 0,5 | 203,17 | 101,59 | 7193,03 | 71 | |
| | 0,6 | | 121,90 | | 59 | |
| | 0,7 | | 142,22 | | 51 | |
| Février | 0,5 | 212,18 | 106,09 | 5971,57 | 56 | |
| | 0,6 | | 127,31 | | 47 | |
| | 0,7 | | 148,52 | | 40 | |
| Mars * | Théorique | 236,67 | 118,34 | 4546,54 | 38 | |
| | | | 0,6 | | 142,00 | 32 |
| | | | 0,7 | | 165,67 | 27 |
| | Expérimentale | 229,02 | 114,51 | 4546,54 | 40 | |
| | | | 0,6 | | 137,41 | 33 |
| | | | 0,7 | | 160,31 | 28 |
| Avril | 0,5 | 222,97 | 111,49 | 882,16 | 8 | |
| | 0,6 | | 133,78 | | 7 | |
| | 0,7 | | 156,08 | | 6 | |
| Novembre | 0,5 | 191,90 | 95,95 | 4410,82 | 46 | |
| | 0,6 | | 115,14 | | 38 | |
| | 0,7 | | 134,33 | | 33 | |
| Décembre | 0,5 | 190,03 | 95,01 | 6378,72 | 67 | |
| | 0,6 | | 114,02 | | 56 | |
| | 0,7 | | 133,02 | | 48 | |

Ce calcul est pour déterminer les surfaces des capteurs nécessaire pour couvrir les besoins énergétiques pour chauffer l'habitation du cas d'étude, pendant chaque mois des six mois pendant lesquels le chauffage est demandé (déterminé par le présent travail). Les résultats, dans le tableau (23) révèlent des valeurs disparates le long de ces mois. La surface des capteurs est plus importante pour les mois de janvier, février et décembre. Pour le mois de janvier, Elle est évaluée entre 71, 59 et 51 m² respectivement selon le rendement des capteurs 0,5, 0,6 et 0,7. Pour le mois décembre, elle est estimée à 67, 56 et 48 m², et pour le mois de février est de 56, 47 et 40 m². En revanche, la surface des capteurs est plus au moins importante pour le mois de novembre et mars. Mais, elle est plus concise pour le mois d'avril, 8,7, 6 m².

Il faudrait rappeler que ce calcul des surfaces des capteurs est basé sur l'irradiation théorique, excepte pour le mois de mars où, en plus, le calcul est effectué selon l'irradiation expérimentale, vue la disponibilité des données. Les résultats sont pratiquement identiques, les surfaces estimées des deux procédés sont d'un écart de 1 à 2 m²

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Le travail entrepris par le présent mémoire, en général, s'inscrit dans la stratégie du développement durable relative à conservation d'énergie, l'économie et la protection de l'environnement. Il consiste à pallier le manque d'énergie nécessaire pour le chauffage d'un local (maison individuelle) afin de répondre au besoin en termes de confort thermique intérieur, par le chauffage solaire. Dans la littérature, beaucoup de types de systèmes de chauffage solaires de bâtiment sont exposés comme moyens d'assurer un confort intérieur d'une manière durable, par des considération économiques et environnementales.

Le chauffage à l'aide de capteurs solaires est présenté comme une meilleur alternative à la consommation énergétique produite par les ressources gaz et électricité (fioul), considérés comme épuisables et coûteuses. Le chauffage solaire, donc, présente une myriade d'avantages sur le plan économique et environnemental, tant que la ressource est inépuisable : le soleil. Mais, d'après, les recherches ceci est tributaire à d'autres paramètres liés au bâtiment lui-même et ses composants, sa conception et ses matériaux, isolation de son enveloppe. L'isolation du bâtiment de son milieu extérieur constitue la première clé à sa performance énergétique, comment réduire les déperditions énergétiques ? Ce qui, en conséquence, diminuerait le besoin énergétique nécessaire pour la création un environnement intérieur confortable.

Ce travail a procédé au calcul de la puissance énergétique et les surfaces des capteurs pour chauffer une habitation individuelle dans la ville de Biskra, prise comme cas d'étude. Le calcul des déperditions énergétique est effectué selon le document technique réglementaire (D.T.R.C 3-2) algérien relatif à réglementation thermique des bâtiments d'habitation [1].

Les résultats montrent que le recours au chauffage solaire de cette habitation est nécessaire pendant six mois, à des degrés différents. Et, que la surface des capteurs solaires nécessaire au mois de janvier est évaluée à 71 m² pour un rendement des capteurs égal à 0,5 et 51 m² pour un rendement de 0,7. Il paraît que cette surface est assez importante et son installation requiert certaines considérations architecturales liées à l'image de l'habitation.

Dans le but de réduire la surface des capteurs, une simulation a été faite sur l'enveloppe de cette habitation, précisément sur l'épaisseur et la composition des murs extérieurs ainsi que les matériaux des portes et des fenêtres ; afin de voir le cas le plus performant, minimisant la déperdition. Les résultats montrent que la simulation ou le mur (30 cm) est composé de deux parois en briques (2x10 cm) et une couche de polystyrène (10 cm), des portes en bois opaques avec seuil et joint d'étanchéité et des fenêtres avec double vitrage, réduirait de 40% les déperditions énergétiques et de 30% la surface des capteurs, 42 m² comparativement à celui du cas d'étude 71 m² pour le mois de janvier et le même rendement des capteurs (0,5).

Ceci réaffirme que la performance énergétique d'un bâtiment doit être considérée principalement dans les premières phases du processus de conception. Ceci devrait être consolidé par une réglementation technique (étatique) régissant le domaine énergétique du bâtiment selon une stratégie durable comme l'exemple de beaucoup de pays.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Document Technique Réglementaire (D.T.R. C 3-2). REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.
- [2] ENVIDURA cultiver environnement naturel et professionnel. Le confort thermique. Disponible sur : <<http://www.avidura.com/ambiances-ergo/le-confort-thermique>>. Consulté le (18/12/2016)
- [3] CANTIN, R. et al. « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6ème congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris du 19 au 22 septembre 2005.
- [4] MAZARI, M. « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) » Thèse de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou - Algérie (2012). P 5.
- [5] JEAN-YVES, C et al. Confort thermique à l'intérieur d'un établissement. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (2004).
- [6] ENERGIE-PLUS Outil d'aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments tertiaires. Le confort thermique. Disponible sur : <<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10250#c20964493>>. Consulté le (19/12/2016).
- [7] NEUF : « Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel » Revue européenne d'architecture N°77, novembre -décembre (1978). P 12.
- [8] RGPT. (La réglementation générale française pour la protection du travail)
- [9] LIEBARD, A. et DE HERDE, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur. Paris (2005).
- [10] THELLIER, F. « L'homme et son environnement thermique – Modélisation ». Université de Paul Sabatier de Toulouse, (1999), p 65.
- [11] DUPERON, O « Modélisation thermique dynamique du rafraîchissement passif », Lyon, France, (2011), P 18.
- [12] HUGUES, B. « la ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », Mémoire de maîtrise, université Laval Québec. (2007). P 115.
- [13] XPAIR Le portail expert de la performance énergétique. Les déperditions thermiques. Disponible sur : <<http://www.xpair.com/lexique/definition/deperditions.html>>. Consulté le (20/04/2017).
- [14] WIKIPEDIA L'encyclopédie libre. Économies d'énergie. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89conomies_d'%C3%A9nergie>. Consulté le (20/04/2017).

- [15] ISOLATION ET MAISON ECOLOGIQUE. Qu'est-ce que la chaleur ? . Disponible sur : < <http://tpmaisoneco.e-monsite.com/pages/proprietees-de-la-laine-de-chanvre.html>>. Consulté le (21/04/2017).
- [16] ENERGIEPOSITIVE. Réduire les déperditions par les vitrages. Disponible sur : < http://www.energiepositive.info/cms/impression_page.htm?page_id=0000000031&gab_id=4>. Consulté le (19/04/2017).
- [17] CONSOGLOBE consommer mieux vivre mieux. L'importance du vitrage dans l'isolation thermique. Disponible sur : < <http://www.consoglobe.com/importance-vitrage-dans-isolation-thermique-cg>>. Consulté le : (20/04/2017).
- [18] LES ARTISANS CONSTRUCTEURS. Isolation : quelles sont les principales zones de déperdition de chaleur d'un logement. Disponible sur : < <http://votreconstructeurdemaison.fr/zones-de-deperdition-de-chaleur-d-un-logement-63> >. Consulté le : (19/04/2017).
- [19] ENERGIE-PLUS Outil d'aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments tertiaires. Le coefficient de transmission thermique moyen d'une dalle sur sol. Disponible sur : < <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16910> >. Consulté le (19/12/2016).
- [20] GEERT, H. « Les ponts thermiques ». lafarge research center. sint lucas architectur gent-brussel.<<http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Userfiles/Files/5%20FR%20pontsthermiques%20fr.pdf>>.
- [21] ENERBAT-THERMIQUE. La perméabilité à l'air. Disponible sur : < <http://www.enerbat-thermique.fr/permea.html> >. Consulté le : (22/04/2017).
- [22] ENERGETIQUE DU BATIMENT. < [Http://neanne.univ-tln.fr/img/pdf/cours_bilan_thermique_lp_mie_etudiant.pdf](http://neanne.univ-tln.fr/img/pdf/cours_bilan_thermique_lp_mie_etudiant.pdf) >.
- [23] BUILD GREEN pour un habitat responsable. Consommation d'énergie. Disponible sur : < <https://www.build-green.fr/consommation-denergie-calcul-des-deperditions-thermiques/> >. Consulté le (20/04/2017).
- [24] FITES, D. « comparaison technico-économique entre différentes installations de chauffage et de climatisation des locaux ». Thèse de magister. Université de Batna – Algérie. (2014).
- [25] Manuel modulaire chauffage central, Chauffage central : généralités et dessins technique d'installation. Fonds de Formation professionnelle de la Construction, Bruxelles, (2008).
- [26] SERGE, A et YVES, L. « Les pompes à chaleur et la maison individuelle », Éditions du Moniteur, Paris, (1982).
- [27] BOULKAMH, M. « Contribution à l'étude, la simulation et l'analyse des pompes à chaleur assistées par l'énergie solaire ». Thèse de magister en génie climatique, Constantine (2008).
- [28] BOUREFIS, H. « Modélisation d'un plancher chauffant cas de la région de HASSIMESSAOUD ». Thèse de magister en génie climatique, Constantine. (2001).
- [29] ZOUAGRI, R. « Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un bâtiment ». Thèse de magister Physique Energétique. Université Hadj Lakhdar Batna. (2012).

- [30] SEDRATI, N et al. « Apports de la géophysique pour la détermination de l'extension des aquifères de la région de BISKRA », Journal Algérien des Régions Arides, N 07, (2008).
- [31] INFOCLIMAT la météo en temps réel. Station météorologique de Biskra Algérie. Disponible sur < <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/biskra/60525.html> >. Consulté le : (12/02/2017).
- [32] CDER Centre de Développement des Energies Renouvelables. Application Web pour le calcul du rayonnement solaire en Algérie. Disponible sur : < <http://data.cder.dz:81/>>. Consulté le (21/03/2017)

Etude des apports énergétiques d'un local

Résumé : Le présent mémoire traite de la problématique ayant trait au chauffage solaire comme un moyen durable de fournir un confort thermique intérieur, en réduisant l'utilisation d'énergie (non-renouvelable) et en diminuant de manière significative l'impact négatif sur l'économie et l'environnement. Le mémoire est structuré selon deux volets, une revue de la littérature du sujet de l'étude relatif au chauffage domestique, en parcourant différents types et techniques, et au processus de calcul de l'énergie solaire et de la surface des capteurs nécessaire pour fournir un confort intérieur. Ainsi, l'objectif principal de ce travail est de calculer l'énergie solaire et la surface des collecteurs solaires nécessaires pour chauffer un espace domestique, c'est-à-dire une maison individuelle dans la ville de Biskra, Algérie. Ceci est réalisé sur la base du calcul des déperditions thermiques effectué selon les règles établies par la Réglementation thermique algérienne des bâtiments résidentiels, en considérant l'angle d'inclinaison des capteurs à 45° orienté vers sud. En outre, certaines simulations ont été mises en œuvre sur les matériaux de l'enveloppe de la maison, principalement sur les murs, en plus des portes et des fenêtres, pour mesurer l'impact de leur composition et de leurs matériaux sur la perte de chaleur et par conséquent sur la surface des capteurs. Ce travail a présenté des résultats intéressants qui sont discutés et formulés comme des recommandations congrues aux stratégies visant à intégrer la conservation d'énergie dans le processus de conception architecturale.

ملخص : تطرقت هذه المذكرة للتدفئة بالطاقة الشمسية كطاقة مستدامة لتوفير الرفاهية الحرارية داخل المباني مع تخفيض استهلاك الطاقة مما ينعكس ايجابا على الجانب الاقتصادي و البيئي. هذه المذكرة مهيكلة وفق محورين : اولا دراسة نظرية حول موضوع البحث المتعلقة بتدفئة المنشآت السكنية و المعادلات و طرق حساب الطاقة الضرورية لتوفير الرفاهية الداخلية. الهدف الاساسي من هذا العمل هو حساب الفقد الحراري للمسكن حال الدراسة الواقع بمدينة بسكرة و من ثم حساب مساحة اللوح الشمسية لتوفير الطاقة الضرورية لتدفئته. الدراسة اعتمدت على المعطيات المتوفرة في قواعد التنظيم الحراري الجزائرية المتعلقة بالمنشآت السكنية مع اعتبار ميلان اللوحات الشمسية بزواية 45° نحو الجنوب. كما تمت بعض المحاكاة على مواد بناء الغلاف الخارجي للمسكن خاصة على الجدران النوافذ و الابواب من اجل قياس مدى تأثير تركيبهم الانشائية على الفقد الحراري وبالتالي على مساحة اللوحات. هذا العمل اظهر نتائج مهمة ترجمة الى توصيات متمثلة في كيفية ادراج الجانب الطاقوي في مراحل تصميم المباني.

Abstract: The present thesis handles solar heating as a sustainable means to provide interior thermal comfort; by reducing energy(finite) use and accordingly decreasing significantly the economic and environmental effects. The thesis is structured according to two features: a literature review of the topic of inquiry related to domestic heating and a calculation process of the required solar energy and captors' surface to supply an interior comfort. Thus, the main goal of this work is to calculation of the solar energy and the solar collectors' surface needed for heating a domestic space i.e. an individual house in the city of Biskra, Algeria. This is realized on the basis of the heat loss calculation carried out by the rules set by Algerian Thermal Regulation of residential buildings, considering captors' inclination of 45° to the south. Besides that, some simulations have been implemented on the house envelop materials, principally on the walls besides doors and windows, to measure the impact of their composition and materials on the heat loss and consequently the captor's surface. The outcome showed interesting findings that are discussed and set as recommendation associated with energy-related strategies in housing design process.