

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Civil

Mémoire de Master

Bilan thermique d'un bâtiment

Dirigé par : Mme A.CHIKH
Mme R.KETTAB

Réalisé par : DALI ABDELHAMID
ALIK KHALED

Soutenu le 10/11/2013 devant le jury composé de :

Président : M^f A.BALI

Promotrices : M^{me} A.CHIKH

M^{me} R.KETTAB

Examineur : M^{me} D.CHERID

Promotion 2013

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

Tel:213 21 52 53 01/03 -Fax:213 21 52 29 73

الملخص

إن الهدف من هذا العمل هو الدراسة الحرارية لعمارة ذات طابع سكني من الخرسانة المسلحة، المتكونة من خمسة طوابق و طابق أرضي، سيتم بناؤها فيقصر البخاري ولاية المدية، مقاومة البناية محققة بواسطة نظام تدعيم مختلطن أعمدة عارضاتو جدران، تمت دراسة هذه المنشأة وفقا لمعايير البناء المطبقة في الجزائر .

كلمات مفتاحية

الدراسة الحرارية، عمارة سكنية، الخرسانة المسلحة، ولاية المدية، تدعيم مختلط، معايير البناء .

Résumé

Le but de ce travail est l'étude thermique d'un bâtiment R+5 à usage d'habitation en béton armé. Ce projet se situe à KASR EL BOUKHARI wilaya de MEDEA. La résistance du bâtiment est assurée par un système de contreventement mixte (portiques + voiles). La conception a été faite conformément aux règlements de construction appliqués en Algérie.

Mots clés

Etude thermique, bâtiment à usage d'habitation, béton armé, wilaya de MEDEA, contreventement mixte, Règles de construction.

Abstract

The goal of this work is the thermal study of a reinforced concrete building structure for habitation, made up of ground floor +5 floors. This project is situated in KASR EL BOUKHARI (MEDEA). The resistance of the building is ensured by mixed wind-bracing. The design was made according to Algerian payments of construction.

Key words

Thermal study, building structure for habitation, Reinforced concrete, situated in MEDEA, mixed wind-bracing, payments of construction.

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la santé et le courage de finaliser ce modeste travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions nos promotrices : Mme CHIKH Aïcha Mme KETTAB Ratiba, pour la sollicitude avec laquelle elles ont suivi et guidé ce travail, pour leurs disponibilités, leur patience et leur soutien moral.

Nous remercions les membres du jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Toute notre gratitude va aux enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet.

Nos remerciements à toute la promotion génie civil 2013.

Table des matières

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

Chapitre I : Bilan thermique d'un bâtiment

I.1. Définition du bilan thermique.....	2
I.1.1. But du bilan thermique.....	2
I.1.2. Déperditions.....	3
I.1.3. Gains.....	3
I.1.4. Délimitation du système	3
I.2. Pont thermique.....	5
I.3. Apports d'énergies.....	5
I.3.1. Ensoleillement.....	6
I.3.2. Occupation des locaux	6
I.3.3. Isolation	6
I.4. Notions générales.....	6
I.4.1. Mode d'échanges thermiques.....	6
I.4.1.1. Par rayonnement.....	6
I.4.1.2. Par convection.....	7
I.4.1.3. Par conduction.....	7
I.4.2. Echange de chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi.....	7
I.4.3. Flux de chaleur.....	7
I.4.4. Coefficient de conductivité.....	7
I.4.5. Résistance thermique.....	8
I.4.6. Coefficient de transmission surfacique	8

I.5. Déperditions.....	8
I.5.1. Différents types de déperdition	8
I.5.2. Déperditions totales d'un logement.....	9
I.5.3. Déperditions totales d'un volume.....	9
I.5.4. Déperditions par transmission d'un volume.....	9
I.5.5. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume.....	10
I.5.6. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes.....	10
I.6. Vérification et déperdition de référence.....	10
I.6.1. Vérification réglementaire.....	10
I.6.2. Calcul des déperditions de référence.....	10
I.7. Calcul des déperditions de base.....	11
I.7.1. Déperditions de base totale.....	11
I.7.2. Déperditions de base pour un volume.....	11
I.8. Puissance de chauffage à installer.....	11
I.8.1. Calcul de la puissance de chauffage.....	11

Chapitre II : Exemple de calcul

II.1.Introduction.....	13
II.2.Présentation de l'ouvrage	13
II.3.Zoned'implantation.....	15
II.4.Dimensions des éléments résistants.....	15
II.5.Revêtements.....	15
II.6.Calcul des déperditions.....	15
II.6.1.Données de calcul.....	15

II.6.1.1.Planchers.....	15
II.6.1.2.Murs de façade	16
II.6.1.3.Retombées des poutres	17
II.6.1.4.Retombées des poteaux	18
II.6.1.5.Mur de façade en voile	19
II.6.1.6.Coefficient de conductance pour les ouvrants	19
II.6.2.Calcul des déperditions à travers les parois en contact avec l'extérieur	19
II.6.3.Déperdition à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.....	20
II.6.3. Vérification réglementaire.....	21
II.7.Calcul des déperditions par renouvellement d'air.....	22
II.7.1.Débit spécifique de ventilation.....	22
II.7.2. Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent	22
II.8. Calcul de la puissance de chauffage.....	23
II.9. Amélioration de l'isolation.....	24
II.9.1. Puissance de chauffage.....	24
II.10. Conclusion.....	25
Conclusion.....	26
Bibliographie.....	27

Liste des tableaux

Tableau.II.1. Composants et caractéristiques du plancher terrasse.....	15
Tableau.II.2. Composants et caractéristiques du plancher courant.....	16
Tableau.II.3. Composants et caractéristiques du mur en double cloisons.....	17
Tableau.II.4. Composants et caractéristiques des Poutres longitudinal.....	18
Tableau.II.5. Composants et caractéristiques thermique du poteau.....	18
Tableau.II.6. Déperditions surfaciques vers l'extérieur.....	19
Tableau.II.7. Déperditions surfaciques $D_{s,inc}$	20
Tableau.II.8. Coefficient correspond à la zone climatique.....	21
Tableau.II.9. Calcul de débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent.....	23

Liste des figures

Figure I.1. Bilan thermique d'un bâtiment.....	2
Figure I.2. Diagramme de Sankey : représentation des flux d'énergie traversant une frontière par des flèches proportionnelles à leur intensité.....	4
Figure I.3. Echange de la chaleur.....	7
Figure I.4. Postes de déperditions d'un bâtiment.....	9
Figure II.1. Façade principale.....	13
Figure II.2. Etage courant.....	14

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, l'augmentation de la demande mondiale en énergie est accompagnée par la diminution et la raréfaction des ressources énergétiques naturelles. Il est devenu primordial et plus qu'indispensable de rationaliser la consommation d'énergie dans tous les domaines (industrie, communication, transport, construction...).

En ce qui concerne l'habitat, l'homme cherche à trouver un équilibre entre son confort et la minimisation en consommation énergétique en chauffage et en climatisation. L'industrie a fourni des solutions et des produits adéquats pour une isolation thermique adaptée à chaque situation : portes et fenêtres, revêtements des murs, des planchers et des tuyauteries, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de son habitat. Pour ce faire, il doit se concentrer sur les caractéristiques des matériaux employés dans sa bâtisse et sur les surfaces des pertes thermiques à travers les parois, les ouvertures et les débranchements. Ces pertes sont d'autant plus importantes que l'écart entre les températures internes et externes est élevé.

D'où l'intérêt d'établir un bilan thermique (bilan énergétique) qui est une comptabilité des entrées et des sorties d'énergie du bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré, par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains, les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande.

Cette étude portera essentiellement sur une présentation des notions générales sur le bilan thermique. Nous entamons par la suite l'évaluation et les méthodes de calcul des déperditions calorifiques pour des différents cas existants, ensuite nous présentons un exemple de calcul tout en appliquant le règlement thermique (D.T.R.C.3-2).

Chapitre I :

Bilan thermique

d'un bâtiment

I.1. Définition du bilan thermique

Le bilan énergétique (thermique) consiste à estimer les entrées et les sorties d'énergie du bâtiment pendant une période de temps donnée.

Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains. Les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande (par exemple une année, voire un mois s'il n'existe pas de capacité de stockage particulièrement grande).

Etablir un bilan thermique consiste à calculer les différents apports énergétiques et les différents types des déperditions tenant compte de plusieurs facteurs influants tels que :

- La délimitation du système étudié dans l'espace et dans le temps ;
- La zone climatique ;
- L'orientation du bâtiment ;
- Les débits d'air mis en jeux ;
- Le coefficient de transmission surfacique de la paroi ou d'un matériau. etc.

Tout cela, pour arriver enfin au dimensionnement des installations de chauffage convenables et conformes au règlement thermique en vigueur.

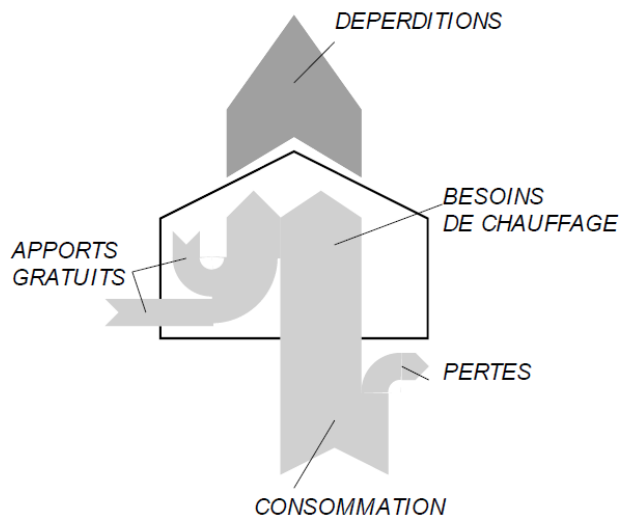


Figure I.1 Bilan thermique d'un bâtiment

I.1.1. But du bilan thermique

Le bilan thermique a pour but de :

- Calculer la consommation d'énergie du bâtiment
- Détecter les points faibles sources de déperdition

- Choisir la solution d'isolation la plus économique
- Corriger ou améliorer l'isolation dans de vieux bâtiments

La chaleur produite dans le bâtiment est :

- Soit perdue vers l'extérieur
- Soit stockée dans la structure, augmentant ainsi sa température

Le bilan thermique consiste donc à identifier et à estimer les apports et les pertes d'énergie.

I.1.2. Déperditions

- Transmission thermique
- Aération
- Eau chaude
- Chaleur stockée
- Pertes techniques

I.1.3. Gains

- Gains internes
- Gains solaires passifs
- Gains solaires actifs
- Chaleur restituée
- Apports d'énergie onéreuse

Au bout d'un temps t suffisamment long : Total des déperditions = Total des gains

I.1.4. Délimitation du système

La délimitation du système dans l'espace et dans le temps devra être effectuée soigneusement avant d'aborder le calcul du bilan thermique du bâtiment, de même que la définition précise des utilisations de l'énergie et les vecteurs énergétiques que l'on va considérer. Sans cette précaution, on ne peut définir ni les flux d'énergie (qui doivent traverser une frontière spatiale), ni l'énergie consommée (l'énergie utilisée est l'intégrale de la puissance pendant une certaine période de temps), ni les limites énergétiques du système (s'occupe-t-on du chauffage seulement ou du chauffage, cuisson, éclairage et sanitaire, ou encore de la totalité des besoins énergétiques en incluant les matières consommées et produites ainsi que leur transport?)

La **délimitation spatiale** consiste à définir les frontières du domaine étudié, au travers desquelles passent les flux d'énergie à calculer. Pour un bâtiment, cette frontière est généralement constituée par:

- l'enveloppe du bâtiment ;
- les compteurs d'entrée des sources d'énergie de réseau (électricité, gaz, chauffage à distance) ;
- les entrées des combustibles (mazout, charbon, bois) ;
- les surfaces de captage d'énergie solaire ;
- les raccordements d'entrée de l'eau froide et
- les raccordements de sortie des eaux usées.

❖ **La délimitation du système se fera donc**

- **soit par type d'utilisation**

- chauffage
- eau chaude
- cuisson
- électroménager
- éclairage
- climatisation
- transports et télécommunications
- etc.

- **soit par vecteur d'énergie (source)**

- ensoleillement
- chaleur humaine et animale
- cuisson
- chaleur à distance
- chauffage (combustibles mazout, charbon, gaz, bois, etc
- éclairage et appareillage électrique divers
- etc.

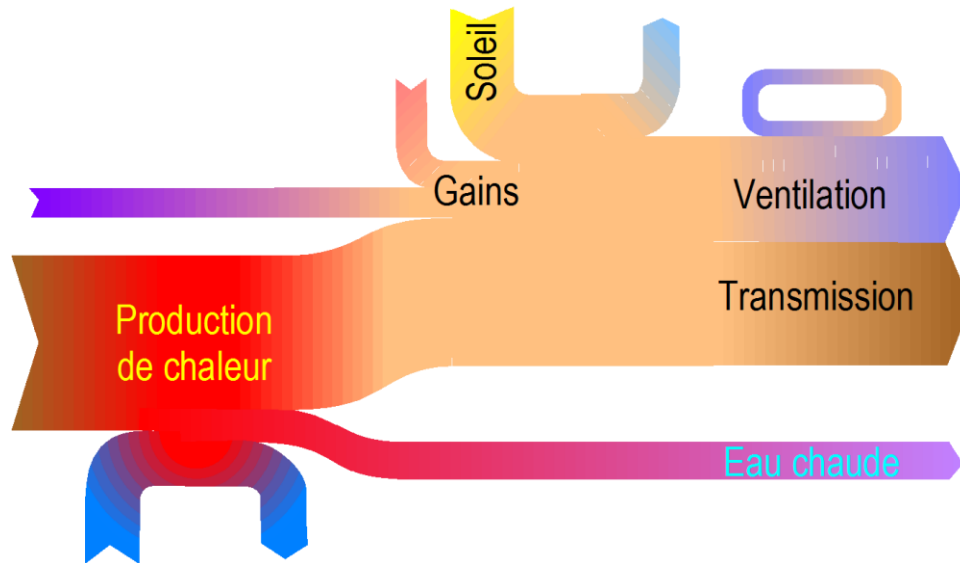


Figure I.2.Diagramme de Sankey : représentation des flux d'énergie traversant une frontière par des flèches proportionnelles à leur intensité

I.2. Pont thermique

Un pont thermique est constitué par toute discontinuité dans la couche isolante, par tout endroit où la résistance thermique présente une faiblesse.

On distingue les ponts thermiques géométriques tels que les angles et les coins, et les ponts matériels, dans lesquels un matériau conducteur de la chaleur traverse la couche isolante

L'isolation extérieure permet d'éviter la plupart des ponts thermiques. De plus, elle présente de nombreux avantages:

- Augmentation de l'inertie thermique intérieure, donc amélioration du confort d'été et meilleure utilisation de gains solaires passifs en hiver ;
- Stabilisation de la température de la structure, donc vieillissement plus lent de celle-ci ;
- Diminution, et dans la plupart des cas élimination totale des risques de condensation dans les éléments de construction.

I.3. Apports d'énergies

Ce sont les énergies présentes naturellement dans les pièces ou dans les bâtiments, on doit les prendre en compte et les estimer afin de réduire la consommation de chauffage.

I.3.1. Ensoleillement

L'ensoleillement est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée, s'exprimant en mégajoules par mètre carré (MJ/m^2) ou en watt-heures par mètre carré (Wh/m^2)

L'ensoleillement est soumis à de nombreux paramètres : coordonnées géographiques (heures de lever et de coucher du soleil), topographiques (ombrage du relief lointain), météorologiques (nuages, brouillard), naturels (végétation, faune) ou encore humains (bâtiments ...)

I.3.2. Occupation des locaux

Les apports d'énergie par l'occupation des locaux peuvent être dus soit :

- par le nombre des occupants du bâtiment ;
- Activité des occupants ;
- par l'éclairage : les différents types d'éclairage existants, ainsi que les surfaces concernées à chaque fois ;
- Les équipements du bâtiment, ainsi que leur état (marche ou veille).

I.3.3 Isolation

Pour arriver à préserver l'énergie fournie pour un local le plus que possible il faut prévoir des matériaux possédant une faible conductivité thermique et faire le bon choix pour les portes, les fenêtres et le revêtement.

I.4. Notions générales

I.4.1 Modes d'échanges thermiques

L'énergie thermique a la propriété de se déplacer dans l'espace. Lorsque le trajet de ce déplacement traverse une surface déterminée, on dit qu'il y a flux de chaleur à travers cette surface.

- Trois modes de transmission de l'énergie correspondent à trois phénomènes physiques distincts qui sont :

I.4.1.1. Par rayonnement

Tous les corps solides et liquides émettent par leur surface de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Si cette énergie rencontre un corps absorbant ses longueurs d'ondes, elle se transforme en chaleur.

I.4.1.2. Par convection

Ce mode d'échange thermique est propre aux fluides : les molécules directement au contact d'une surface solide absorbent ou cèdent de la chaleur suivant les températures respectives de la surface et des fluides.

I.4.1.3. Par conduction

La conduction traduit l'échange de chaleur s'effectuant par propagation à l'intérieur d'un solide.

I.4.2. Echange de chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi

Le phénomène de l'échange de chaleur entre deux ambiances (extérieure et intérieure) de températures différentes ($T_i > T_e$), séparées par une paroi, s'effectue de la façon suivante : la chaleur issue du milieu intérieur est transmise par rayonnement et convection. Elle traverse la paroi par conduction, puis elle est restituée au milieu extérieur par rayonnement et convection.

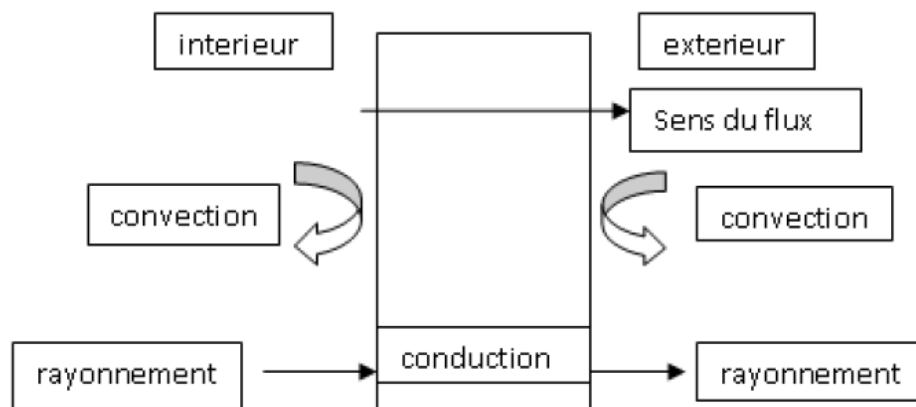


Figure I.3. Echange de la chaleur

I.4.3. Flux de chaleur

Le flux de chaleur (Φ) est la quantité de chaleur (Q) échangée par unité de temps (t) :

$$\Phi = Q / [W]$$

Il exprime une énergie par unité de temps, c'est-à-dire une puissance, et se mesure en watts.

Pour le calcul des déperditions de chaleur dans le bâtiment, il faut rapporter le flux à l'unité de surface (A). Ce rapport s'appelle densité de flux (φ) : $\varphi = \Phi / A$ [W/m²]

I.4.4. Coefficient de conductivité

La conductivité thermique d'un corps (λ) est, par définition, la densité de flux traversant pour une différence de 1°C entre les deux faces séparées par un mètre d'épaisseur.

Elle s'exprime en : [W/m.°C]

I.4.5. Résistance thermique

Dans les calculs à effectuer en isolation thermique, on a besoin de connaître la résistance d'un corps d'épaisseur donnée au flux de chaleur. Cette résistance thermique, notée (R) est proportionnelle à la conductivité :

$$R = e/\lambda [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

Avec : e = épaisseur du matériau exprimée en mètre.

I.4.6. Coefficient de transmission surfacique

Dans le cas d'un mur séparant deux ambiances internes le coefficient (K) est donné par la formule :

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

Avec :

- $\sum R$ représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi ;

La somme $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ représente la somme des coefficients d'échanges superficiels, prise conformément aux conventions adoptées

I.5. Déperditions

I.5.1. Différents types de déperditions

Dans un bâtiment, les différents types de déperditions thermiques à envisager sont:

- déperdition thermique par transmission à travers les parois donnant directement sur l'extérieur (H_D) ;
- déperdition thermique par transmission à travers les parois en contact direct avec le sol, un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé (H_S) ;
- déperdition thermique par transmission à travers les parois donnant sur des locaux non chauffés (à l'exception des sous-sols et vides sanitaires) (H_U) ;
- déperdition thermique par renouvellement d'air (H_V) ;
- déperdition thermique par pont thermique (H_P).

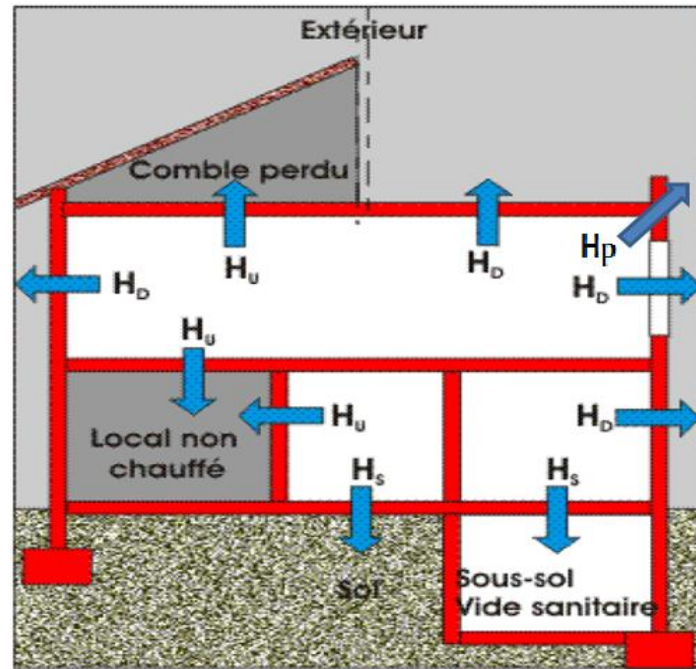


Figure I.4 : Postes de déperditions d'un bâtiment

I.5.2. Déperditions totales d'un logement

Les déperditions totales D pour un logement contenant plusieurs volumes thermiques sont données par la somme de toutes les déperditions soit : $D = \sum D_i [W/^\circ C]$

Où : D_i en $[W/^\circ C]$ représente les déperditions totales du volume i .

I.5.3. Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales D_i d'un volume i sont données par :

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

Où :

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

I.5.4. Déperditions par transmission d'un volume

Les déperditions par transmission (D_T) d'un volume i sont données par :

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

Où :

- $(D_s)_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur;
- $(D_{li})_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions à travers les liaisons;

- $(D_{sol})_i$ [$W/°C$] représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ;
- $(D_{lnc})_i$ [$W/°C$] représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

I.5.5. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

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

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

Où :

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

I.5.6. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes

➤ Les déperditions par transmission D_T [$W/°C$] du logement sont égales à la somme des déperditions par transmission des différents volumes i , soit : $D_T = \sum (D_T)_i$

➤ Les déperditions par renouvellement d'air D_R (en $W/°C$) du logement sont égales à la somme des déperditions par renouvellement d'air des différents volumes i , soit :

$$D_R = \sum (D_R)_i$$

I.6. Vérification et déperditions de référence

I.6.1. Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \quad [W/°C]$$

Où :

- D_T [$W/°C$]: représente les déperditions par transmission du logement.
- $D_{réf}$ [$W/°C$]: représente les déperditions de référence.

I.6.2. Calcul des déperditions de référence

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

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad [W/°C]$$

Où :

- Les S_i (en m^2) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur (comble, vide sanitaire, local non chauffé ou en contact avec le sol).
- Elles concernent respectivement S_1 la toiture, S_2 le plancher bas, y compris les planchers sur les locaux non chauffés, S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les portes-

- fenêtres. S1, S2, S3 sont comptées à l'intérieur des locaux, S4, S5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur ;
- Les coefficients a, b, c, d, e (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$), dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

I.7. Calcul des déperditions de base

On doit prendre en compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base.

I.7.1. Déperditions de base totales

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

$$D_B = \sum (D_B)_i$$

Où : $(D_B)_i$ [W] ; représente les déperditions de base pour chaque volume thermique i.

I.7.2. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique $(D_B)_i$ ont pour expression

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

Où :

- D_i [$W/^\circ C$] : représente les déperditions totales du volume thermique i ;
- t_{bi} [$^\circ C$] : température intérieure de base (température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce).
- t_{be} [$^\circ C$] : température extérieure de base (fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet).

I.8. 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.

I.8.1. Calcul de la puissance de chauffage

La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

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

Où :

- 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} 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 "chauffages 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.

Chapitre II :

Exemple de calcul

II.1.Introduction

Ce chapitre consiste à développer et calculer les déperditions thermiques pour bâtiment R+5 à usage d'habitation, implanté à ADJLANA qui est situé à KASR EL BOUKHARI wilaya de MEDEA, et dont le dimensionnement des éléments structuraux a fait l'objet de notre projet de fin d'études.

II.2.Présentation de l'ouvrage

Le bâtiment comporte 4 appartements F3 de surface moyenne 68,45 m² par niveau avec une hauteur d'étage de 2,94m.

- La 1^{er} figure ci-dessous présente la façade principale de ce bâtiment ;
- La 2^{ème} figure montre la répartition des locaux ainsi que les différentes ouvertures existant dans un étage courant.



Figure. II.1. Façade principale

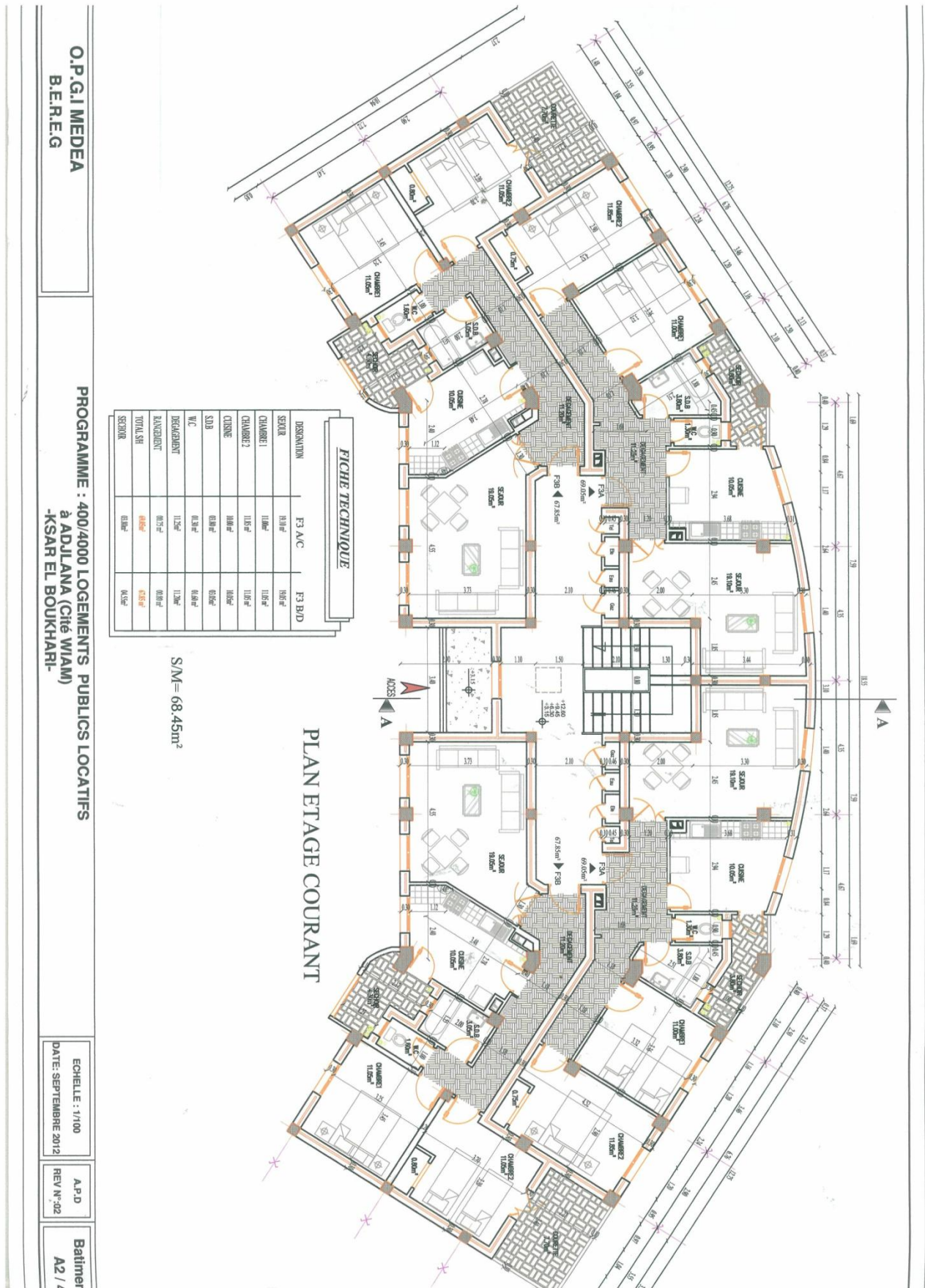


Figure. II.2. Etage courant

II.3.Zoned'implantation

La zone climatique à considérer est la zone C, correspondant au site d'implantation du bâtiment. Cette zone comprend les Hauts-Plateaux qui s'étendent entre l'atlas tellien et l'atlas Saharien, conformément à la Règlementation thermique des bâtiments d'habitation (D.T.R C 3-2).

II.4.Dimensions des éléments résistants

Les prédimensionnement pour ce bâtiment [2] a donné les dimensions suivantes :

- Poteau40×40cm ;
- Poutre longitudinale.....30x45 cm ;
- Poutre transversale.....25x40cm ;
- Dalle pleineépaisseur de 15 cm ;
- Voileépaisseur 20 cm.

II.5.Revêtements

Les différents revêtements utilisés dans le bâtiment sont :

- Carrelages scellés sur une chape en mortier et un lit de sable pour un plancher étage courant.
- Enduit plâtre et enduit ciment pour les murs intérieurs et les plafonds.
- Enduit ciment pour les murs extérieurs.
- Gravillons de protection posés sur feutre bitumé avec une forme de pente (pour l'évacuation des eaux pluviales) concernant le plancher terrasse.

II.6.Calcul des déperditions

II.6.1.Données de calcul

II.6.1.1.Planchers

Notre bâtiment possède un seul type de plancher qui est « un plancher dalle pleine ».

➤ Plancher terrasse

Les différentes couches constitutives du plancher terrasse ainsi que leurs caractéristiques sont présentées dans le Tableau.II.1.

Tableau.II.1.composants et caractéristiques du plancher terrasse

Composants	Epaisseur [cm]	Conductivité thermique λ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m ² .°C/W]
Gravillons de protection	4	1.2	0.033
Feutre bitumé	2	0.23	0.087
Forme de pente	10	1.15	0.087
Dalle pleine	15	1.75	0.085
Enduit au mortier	1,5	1.15	0.013

Enduit plâtre	2	0.35	0.057
Résistance d'échange superficielle			0.22

En utilisant ses données, on va calculer le coefficient de conductance K.

La résistance thermique $R = 0.55 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$

Donc $1/K = 0.55 + 1/h_i + 1/h_e$

$1/K = 0.55 + 0.17 + 0.05$

$1/K = 0.77$

$K = 1.29 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$

➤ Plancher étage courant

La composition du plancher étage courant sera comme il est indiqué dans le Tableau.II.2.

Tableau.II.2. composants et caractéristiques du plancher courant

Composants	Epaisseur [cm]	Conductivité thermique $\lambda \text{ [W/m} \cdot \text{°C]}$	Résistance thermique $R \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$
Carrelages scellés	0.9	1	0.01
Chape en mortier	2	1.15	0.017
Lit de sable	2	0.6	0.033
Dalle pleine	15	1.75	0.085
Enduit au mortier	1.5	1.15	0.013
Enduit plâtre	2	0.35	0.057
Résistance d'échange superficielle	/	/	0.34

La résistance thermique $R = 0.21 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$

Calcul du coefficient de conductance K

On a : $1/K = 0.21 + 1/h_i + 1/h_e$

$1/K = 0.21 + 0.17 + 0.17$

$1/K = 0.56$

$K = 1.78 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$

II.6.1.2.Murs de façade

La maçonnerie utilisée dans ce projet est la brique creuse présente dans deux types de murs:

- Les murs extérieurs et les murs intérieurs de séparation entre appartements sont en double cloisons.

- Murs intérieurs de séparation entre les pièces d'un appartement sont en simple cloison.

➤ Mur en double cloison

Tableau.II.3. composants et caractéristiques du mur en double cloisons

Composants	Epaisseur [cm]	Conductivité thermique λ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m ² .°C/W]
Enduit plâtre	1,5	0.35	0.042
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013
Parois en briques creuses	10	/	0.2
Lame d'air	5	/	0.16
Parois en brique creuse	15	/	0.3
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013

La résistance thermique $R = 0.728$ [m².°C/W]

- Pour une paroi en contact avec l'extérieur :

La résistance d'échange superficielle est de 0.17 [m². °C/W]

Donc $1/K = 0.728 + 1/h_i + 1/h_e$

$$1/ K = 0.728 + 0.11 + 0.05$$

$$1/K = 0.898$$

$$K = 1.11 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

- Pour une paroi en contact avec un local non chauffé :

La résistance d'échange superficielle est de 0.22 [m². °C/W]

Donc: $1/K = 0.728 + 1/h_i + 1/h_e$

$$1/ K = 0.728 + 0.11 + 0.11$$

$$1/K = 0.95$$

$$K = 1.05 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

II.6.1.3.Retombées des poutres

➤ Poutres longitudinales

Nous allons calculer le coefficient de conductance K pour poutres longitudinales des murs de façade donnant vers l'extérieur.

Tableau.II.4.composants et caractéristiques des poutres longitudinales

Composants	Epaisseur [cm]	Conductivité thermique λ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m ² .°C/W]
Enduit plâtre	1,5	0.35	0.042
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013
Béton	30	1.75	0.17
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013
Résistance d'échange superficiel			0.17

$$1/K = \sum R = 0.408$$

$$K = 2.45 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

➤ Poutres transversales

Pour une épaisseur de béton de 25 cm avec le même revêtement on a :

- Pour les poutres donnant vers l'extérieur, le calcula donné un coefficient de conductance K égal à 2.63 [m². °C/W]
- Pour les poutres donnant vers les locaux non chauffés : K = 2.32 [m². °C/W].

II.6.1.4.Retombées des poteaux

- Pour les poteaux en contact avec un local non chauffé

Tableau.II.5.composants et caractéristiques thermiques du poteau

Composants	Epaisseur [cm]	Conductivité thermique λ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m ² .°C/W]
Enduit plâtre	1,5	0.35	0.042
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013
Béton	40	1.75	0.22
Enduit ciment	1,5	1.15	0.013
Enduit plâtre	1,5	0.35	0.042
Résistance d'échange superficielle			0.22

$$1/K = \sum R = 0.55$$

$$K = 1.81 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

➤ Pour les poteaux donnant pour l'extérieur

$$1/K = \sum R = 0.5 \quad \longrightarrow \quad K = 2 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

II.6.1.5. Mur de façade en voile

Pour des voiles en contact avec l'extérieur, Le calcul du coefficient de conductance K a donné :

$$1/K = \sum R = 0.40$$

$$K = 2.5 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

II.6.1.6. Coefficient de conductance pour les ouvrants

➤ Fenêtre : le coefficient de conductance K des parois vitrées et donner par la formule

$$\text{suivant ;} \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ}$$

Avec : K_{vn} coefficient de vitrage nu $K_{vn} = 5$

$$r_v = 0.025$$

$$r_v = 0.030$$

$$r_{occ} = 0.16 + e_{occ}/\lambda_{occ} = 0.16 + 0.1/1.15 = 0.22$$

$$\text{Donc : } \frac{1}{K} = \frac{1}{5} + 0.025 + 0.030 + 0.22$$

$$K = 2.10 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

➤ Porte fenêtre : c'est une port avec une proportion de vitrage entre 30% et 60%

D'où : $K_{vn} = 4.5$

$$\text{Donc : } K = 2.04 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

➤ Portes : Porte opaque donnant vers l'extérieur : $K = 3.5 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$

II.6.2. Calcul des déperditions à travers les parois en contact avec l'extérieur

Les déperditions surfaciques par transmission (D_s) à travers une paroi pour des températures différentes sont donnée par la formule suivante :

$$D_s = K \times A \quad [\text{W/°C}]$$

Ou :

- $K \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$: coefficient de transmission surfacique (conductance)
- $A \text{ [m}^2]$: surface intérieure de la paroi.

Tableau.II.6. déperditions surfaciques vers l'extérieur

Parois	Surface A [m ²]	K [m ² · °C/W]	D _s [W/°C]
Plancher terrasse	67.95	1.29	87.65
Murs extérieur	50.93	1.11	56.53
Voiles	17.08	2.5	42.7

Fenêtres	7	2.10	14.7
Portes Fenêtres	2.64	2.04	5.38
Portes	4.18	3.5	14.63
Poteaux	10.58	1.81	19.15
Poutres longitudinales	5.43	2.45	13.30
Poutres transversales	2.86	2.63	7.5

Remplacent ces résultats dans la formule précédente :

$$D_s = \sum K \times A = 261.57 \text{ [W/°C]}$$

II.6.3. Déperdition à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés

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

L'expression générale de calcul des déperditions pour les parois en contact avec les locaux non chauffés : $D_{lnc} = Tau [\sum(K \times A) + \sum(K_1 + L)] \text{ [W/°C]}$

Ou : - Tau : coefficient de réduction de température (sans dimension) ;

- $K \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$: coefficient de transmission surfacique ;

- $A \text{ [m}^2]$: surface intérieure de chaque partie surfacique ;

- $K_1 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$: coefficient de transmission linéique de chaque liaison ;

- $L \text{ [m]}$: longueur intérieure de chaque liaison.

Pour la valeur de Tau , en va prendre une valeur forfaitaire qui sera de 0.3, c'est le cas des circulations communes n'ouvrant pas directement sur l'extérieur.

Tableau.II.7. déperditions surfaciques $D_{s,lnc}$

Parois	Tau	Surface A [m ²]	K [m ² . °C/W]	$D_{s,lnc}$ [W/°C]
Mur de séparation	0,3	33,82	1,05	10,65
Poteau	0,3	1,17	1.81	0,63
Retombées des poutres	0,3	0,7	2.63	0,55

Soit un total de : $D_{s,lnc} = 11,84 \text{ [W/°C]}$

La deuxième tranche de l'équation précédente [$\sum(K_1 + L)$] présente les déperditions linéiques qui sont des déperditions par pont thermique.

Ces déperditions peuvent être évaluées de 20% des déperditions surfacique par transmission à travers les parois du logement.

$$\sum (K_1 + L) = 20\% \sum (K \times A) \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

On a : déperditions surfacique par transmission = $D_s + D_{s,inc} = 273,41 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$

Donc : $\sum (K_1 + L) = 54,68 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$

Pour cela : $D_{inc} = 66,52 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$

II.6.3. Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

Où :

- $D_T \text{ [W/}^\circ\text{C]}$: représente les déperditions par transmission du logement.
- $D_{réf} \text{ [W/}^\circ\text{C]}$: représente les déperditions de référence.

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

$$D_{réf} = a \times S1 + b \times S2 + c \times S3 + d \times S4 + e \times S5 \text{ [W }^\circ\text{C]}$$

Où :

- Les coefficients a, b, c, d, e (en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

Tableau.II.8. Coefficient correspond à la zone climatique

Zone	Logement en immeuble collectif				
C	A	b	c	d	e
	0,85	2,40	1,20	3,50	4,50

- S1 la toiture, S2 le plancher bas, y compris les planchers sur les locaux non chauffés, S3 les murs, S4 les portes, S5 les fenêtres et les portes-fenêtres.

$$S1 = 67.95 \text{ m}^2, \quad S2 = 67.95 \text{ m}^2, \quad S3 = 84.75 \text{ m}^2, \quad S4 = 4.18 \text{ m}^2, \quad S5 = 9.64 \text{ m}^2$$

Donc: déperditions de référence

$$D_{réf} = 57,75 + 388,8 + 101,7 + 14,64 + 43,38 = 606,27 \text{ [W }^\circ\text{C]}$$

➤ Les déperditions par transmission du logement

$$D_T = D_s + D_{inc} = 261,57 + 66,52 = 328,09 \text{ [W }^\circ\text{C]}$$

Pour cela nous avons: $D_T \leq 1,05 \times D_{réf}$ ce qui est bien vérifié.

II.7. Calcul des déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivante:

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

Avec

0.34 : $[W \cdot h/m^3 \cdot ^\circ C]$ chaleur volumique de l'air ;

Q_V : $[m^3/h]$ débit spécifique de ventilation ;

Q_S : $[m^3/h]$ débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

II.7.1. Débit spécifique de ventilation

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

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

Avec :

V_h : $[m^3]$ désigne le volume habitable;

$Q_{\text{vréf}}$: $[m^3/h]$ débit extrait de référence.

➤ volume habitable (V_h)

$$V_h = S \times H_e = 68,45 \times 2,94 = 201,24 \text{ m}^3 \quad \text{0.6} \times V_h \rightarrow 120,74 \text{ m}^3$$

➤ débit extrait de référence

$$Q_{\text{vréf}} = \frac{5Q_{\text{vmin}} + Q_{\text{vmax}}}{6} [m^3/h]$$

$Q_{\text{vmin}} = 100 [m^3/h]$ (nombre des pièces principales= 4 pièces).

$Q_{\text{vmax}} = 195 [m^3/h]$ (somme des débits extrait de chaque pièce de service de logement).

$$Q_{\text{vréf}} = 115,83 [m^3/h]$$

Donc :

$$Q_V = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{\text{vréf}}] = 120,74 [m^3/h]$$

II.7.2. Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent

Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent Q_S pour un logement :

$$Q_S = \sum (P_{p_i} \times e_{v_i}) [m^3/h]$$

P_{p_i} : $[m^3/h \text{ sous } \Delta P = 1 Pa]$: perméabilité à l'air de la paroi i;

e_{v_i} : coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i.

➤ La perméabilité à l'air P_{p_i} est donnée par la formule :

$$P_{p_i} = \sum P_{O_j} \times A_j$$

P_{O_j} : $[m/h \text{ sous } \Delta P = 1 Pa]$: perméabilité surfacique de l'ouvrant j;

A_j : $[m^2]$ surface de l'ouvrant j;

On définit aussi :

H_i : [m] : distance entre la mi-hauteur de l'ouverture et la surface libre du sol.

Tableau.II.9. Calcul de débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent

Local	Parois	P_{Oj}	A_j [m ²]	P_{p_i}	H_i	e_{vi}	Q_{si}
F3 B	Porte d'entrée (2.2×1) [m]	6	2.2	13.2	6.85	2.30	30.36
	Porte du balcon (2.2×0.9) [m]	6	1.98	11.88	6.85	2.30	27.32
	Porte fenêtre (2.2×1.2) [m]	4	2.64	10.56	6.85	2.30	24.28
	3 fenêtres (1.2×1.4) [m]	4	1.68	6.72	7.05	3.00	20.16
	Fenêtre (1.4×1.4) [m]	4	1.96	7.84	7.05	3.00	23.52

Donc : Pour le local F3 B on a : $Q_s = 165.96$ [m³/h]

Les déperditions par renouvellement d'air :

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

$$D_R = 0.34 \times (120.74 + 165.96)$$

$$D_R = 94.41 \quad [W/^\circ C]$$

II.8. Calcul de la puissance de chauffage

La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

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

Où :

- $c_r = 0$ pour un chauffage individuel;
- $c_{in} = 0,15$ en cas de chauffage discontinu ;
- t_{bi} [°C] : température intérieure de base 17°C ;
- t_{be} [°C] : température extérieure de base -2°C.

La formule donne :

$$Q = 15 \times [[1 + \text{Max}(0; 0.15) \times 328,09] + 94.41]$$

La puissance nécessaire est : $Q = 7075.65$ [W]

II.11. Amélioration de l'isolation thermique

Pour améliorer l'isolation du locale, on va jouer sur les déperditions surfaciques, ou elles présentent des valeurs grand comme : les murs, les voiles et le plancher terrasse.

➤ Murs en contact avec l'extérieur :

Pour les murs en contact avec l'extérieur, on va ajouter un produit isolant qui est le polystyrène expansé en plaques qui possède les caractéristiques suivant :

- Epaisseur 4 cm
- Conductivité thermique $\gamma = 0,046$
- Résistance thermique $R = 0,86$
- Coefficient de conductance $K = 0,629 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$
- Déperdition surfacique : $D_s = 32,03 \text{ [W/°C]}$

➤ Voiles :

Pour les voiles, on va prévoir un doublure en brique d'une épaisseur de 10 cm sur la face intérieur.

- Résistance thermique $R = 0,2$
- Coefficient de conductance pour les parois en voiles double $K = 1,66 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$
- Déperdition surfacique : $D_s = 28,35 \text{ [W/°C]}$

➤ Plancher terrasse :

On va prévoir des plaques de polystyrène expansé entre la dalle pleine et la forme de ponton cette dernière va protéger le polystyrène contre la détérioration est par la suite augment sa durée de vie. Il y'a lieu de noter aussi que la terrasse n'est pas accessible.

- Epaisseur 4 cm
- Conductivité thermique $\gamma = 0,046$
- Résistance thermique $R = 0,86$
- Coefficient de conductance du plancher terrasse $K = 0,61 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$
- Déperdition surfacique : $D_s = 41,44 \text{ [W/°C]}$

➤ Déperdition surfacique total :

On remplace ses nouvelles données dans le tableau (Tableau.II.6) on trouve ;
 $D_s = 176,489 \text{ [W/°C]}$

➤ Les déperditions par transmission du logement :

$$D_T = D_s + D_{inc} = 243 \text{ [W/°C]}$$

II.11.1. Puissance de chauffage

D'après la formule donnée en paragraphe (II.10) on a :

$$Q = 15 \text{ [(1,15} \times D_T) + (1 \times D_R)] \quad [W]$$

$$Q = 15 \times [(1,15 \times 243) + 94,41]$$

$$Q = 5607,9 \text{ [W]}$$

II.12. Conclusion

Après avoir calculé la puissance de chauffage pour une variante classique, on a vu que l'énergie à fournir va être très grande, cela impose de faire une amélioration de l'isolation, dont nous avons proposé une nouvelle variante qui a donné un bon résultat d'une réduction de la puissance à installer de 1467,75 [W].

CONCLUSION

CONCLUSION

L'isolation permet à la fois de réduire nos consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître notre confort. Mais ce n'est pas tout ; l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il existe des produits d'isolation adaptés à chaque situation : pour les murs, les planchers, les plafonds, les fenêtres, et pour l'intérieur ou l'extérieur.

Notre rôle consiste à faire une présentation globale sur le bilan thermique d'un bâtiment ce qui nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur l'énergie du bâtiment et de travailler sur la réglementation thermique des bâtiments d'habitation.

Nous espérons que ce modeste travail constituera un début pour exploiter ces connaissances, et le développement de la réflexion inventive dans la vie pratique.

Bibliographie

[1] Document Technique Réglementaire D.T.R.C.3-2 : REGLEMENTATION THERMIQUEDES BATIMENTS D'HABITATION.

[2] Mlle. GUENOUNOU KAHINA:projet de fin d'étude/ Etude technique d'un bâtiment R+9 avec optimisation thermique. Juin 2009.

[3] M. DALI Abdelhamid, M ALIK Khaled :projet de fin d'étude/ Etude d'un bâtiment R+5à usage d'habitation. Juillet 2013.