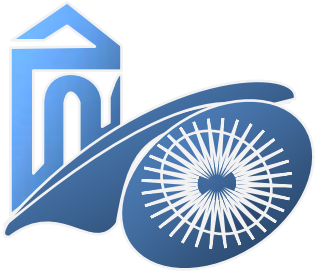
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Dr. YAHIA FARES de MEDEA
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de la Matière



MÉMOIRE DE MASTER

Option : Énergie et Froid Industriel

THÈME :

Étude de l'économie d'énergie sur l'enveloppe et l'éclairage pour un immeuble administratif

Encadreur :
Dr. TRIKI Zakaria

Présenté par :
MEZIANE Tahar

Co- promoteur:
Dr. BENTCHIKOU Mohamed

Promotion 2013-2014

REMERCIEMENTS

*Toutes mes gratitudes, grâce et remerciement au bon **''ALLAH''** qui m'a dirigé dans la voie de la science, et m'a donné le courage et la volonté pour arriver à ce niveau.*

Je tiens tout d'abord à remercier fortement mes promoteurs Mr TRIKI Zakaria, Dr BENTCHIKOU Mohamed qui m'ont aidé et donné beaucoup pour réaliser ce travail. Je vous remercie pour votre compréhension, vos conseils précieux.

Aussi je n'oublie jamais tous les enseignants de Génie de la Matière. Merci pour tous.

Tous mes remerciements également à ma famille pour l'aide inconditionnel durant cette période.

Enfin, je remercie sincèrement tous mes amis de près ou de loin, et tous ceux qui m'ont aidé, d'une manière ou d'une autre durant la période de réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, mes frères et sœurs.

À mon oncle Lakhdhar, sa femme et leurs fils

À mes chèrs amis : Bouzid, Abdelrazak, Seyf Eddine, Merzak,

Nassim, Rachid, Hicham, Ahmed et Mourad

À ma belle étoile B. Souad

À mes enseignants

À tous mes collègues

À tout qui ma connus

Tahar

Sommaire

Remerciement i
Dédicace ii
Résumé iii
Nomenclateur iv
Sommaire v
Liste des tableaux vi
Liste des figures vii
Introduction générale 1

Chapitre I Désignation et description de Project.

I.1. Introduction 3
I .2. Le but de projet 3
I .3. Situations géographiques du projet 3
I .4. Les conditions climatiques extérieures 3
I.5. Les conditions climatiques intérieures 3
I .6. Cahier de charges de l'immeuble 4
I .7. Calcul des coefficients de transfert thermique surfacique (K) pour les différentes parois . 4
a) Mur double cloison 5
b) Dalle sans faux plafond 6
c) Poteau 7
d) Mur simple cloison 8
f) Les autres Coefficients de transmissions thermiques surfaciques. 10
g) Résumé des Coefficients de transmissions thermiques surfaciques 10
I .8.Vérification de la résistance thermique 11
I.9. Conclusion 12

Chapitre II Étude de la condensation et isolation thermique.

II.1. Introduction 13
II .2. Étude de la condensation 13
II .2.1. La condensation superficielle 13
II .2.2. La condensation dans la masse 15
II.3.L'isolation thermique 21
II.3.1. Introduction 21
II.3.2. Caractéristiques des isolants 22
a) Les caractéristiques statiques 22

b) Les caractéristiques dynamiques 23
II.3.3. Les différents matériaux d'isolations dans le marché 25
II.3.4. Application des isolants thermiques 28
II.3.5.Choix du système d'isolation 36
II.3.5.2. Description de l'isolant choisit 37
II.3.5.3.L'isolation à travers les parois vitrées 39
II.3.5.4.Conclusion 39

Chapitre III Transfert thermique dans les bâtiments.

III.1.Introduction 40
III.2.Définitions 40
a) Champ de la température 40
b) Flux de chaleur 40
c) Bilan d'énergie 41
III.3. Les modes de transfert thermique 41
a) La Conduction 41
b) La Convection 42
c) Le Rayonnement 43
III.4.Le flux de chaleur lié à un débit massique 43
III.5.Transfert thermique unidirectionnel 44
a) Mur simple 44
b) Mur multicouches 45
c) Mur composite 45
III.6.Echange thermique dans le bâtiment 46
III.6.1.Bilan énergétique 47
III.6.2.Les besoins brut du bâtiment 47
III.6.2.1.les déperditions 48
a) Déperditions par transmission 48
b) Déperditions à travers les espaces non chauffés 49
c) Déperditions par le sol 49
d) Déperditions par ventilation 49
e) Déperditions à travers les ponts thermique 49
III.6.2.2. Les charge thermique à travers un bâtiment 50
a) Charges externes 50
b) Charges à travers les surfaces vitrée 50

c) Charges par l'intermédiaire des ouvertures (portes, fenêtres ..... 50)
d) Charges internes 50
III.7. Conclusion..... 51

Chapitre IV Calcul du bilan thermique.

IV.1.Introduction..... 51
IV.2.calcul les déperditions 51
IV.2.1.calcul des déperditions de base par transmission..... 53
a) Les déperditions surfaciques par transmission à travers les parois 53
b) Les déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol..... 53
c) Les déperditions à Travers les parois en contact avec des locaux non chauffés..... 54
IV.2.2. Les déperditions à travers les ponts thermiques 54
IV.2.3. Les déperditions par renouvellement d'air 55
IV.2.4.Vérification réglementaire 61
IV.3. Calcul Les apports calorifique 62
a) Apports à travers les parois opaques 63
b) Apports à travers les parois vitrées 63
c) Apports de chaleur internes 64
d) Apports de chaleur par introduction d'air extérieur 66
IV.4.Calcul Les déperditions après l'amélioration..... 78
IV.5. Les apports après amélioration 83
IV.6.Résumés des apports et des déperditions 93

Chapitre V Etude économique et environnementale.

V.1. Introduction 95
V.2. Facteurs intervenant dans le chauffage ou la climatisation 95
a) Energie 95
b) L'énergie électrique 95
c) Énergies fossiles..... 95
d) Pétrole et gaz naturel 96
e) Prix de l'énergie 96
V.3. Economique d'énergie sur la construction 96
V.3.1. Épaisseur optimale de l'isolant..... 96
V.3.2. L'économie sur l'investissement 98
V.3.3. L'économie à travers les parois opaque 102
V.3.4. L'économie à travers les parois vitrées 104

V.4. Economie d’énergie sur l’éclairage 104
V.4.1. Eclairage électrique 104
a) Les lampes à incandescences 105
b) Les lampes aux halogènes 105
c) Les lampes fluo compactes 106
d) Lampes tubulaires fluorescentes 107
V.4.2. L'éclairage naturel 108
a) Disponibilité de la lumière du jour 109
b) Eclairage électrique en apport à l'éclairage naturel 109
V.5. Etude environnementale 110
V.5.1. Analyse énergétique et environnementale 110
a) La protection de la planète 110
b) La protection de l’environnement 111
c) La réchauffe la planète 111
d) La détérioration de la couche d’ozone 111
e) Impact sur l’effet de serre 112
V.6.Conclusion 112
Conclusion et recommandation 113
Bibliographie .....
Annexe .....

Liste des tableaux

Tableau. I.1. les conditions climatiques extérieures..... 3
Tableau. I.2. les conditions climatiques intérieures. 3
Tableau. I.3. Cahiers de charges d'immeuble 4
Tableau .I.4. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour un mur double cloison. 6
Tableau. I.5. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour une dalle sans faux plafond..... 7
Tableau. I.6.Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour un poteau. 8
Tableau. I.7.Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour le mur simple cloison 9
Tableau. I.8.Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour les autres éléments.. 10
Tableau. I.9. Coefficients de transmissions thermiques surfaciques(K) pour tous Les éléments de conception sans isolant 10
Tableau. I.10. Coefficients de transmissions thermiques surfaciques(K) pour tous Les éléments de conception avec isolant. 11
Tableau. I.11. La Températures de rosée 12
Tableau. I.12. les résistances thermiques des parois en contact avec l'extérieur..... 12
Tableau. II.1. La comparaissant entre T_{pi} et T_{ri} 14
Tableau. II.2. pressions de saturation dans toutes les couches de mur à double cloison. 17
Tableau. II.3. pressions de saturation dans les couches de la dalle sans faux plafond..... 17
Tableau. II.4. pressions de saturation dans les couches d'un poteau 17
Tableau. II.5 pression partielle d'un mur double cloison..... 19
Tableau. I.6 Pression partielle de la dalle sans faux plafond. 20
Tableau. I.7. Pression partiale d'un poteau. 20
Tableau. II.8. Qualités des quelques matériaux isolants 24
Tableau IV.1 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 01. 56
Tableau IV.2 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 02. 56
Tableau IV.3 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 03 57
Tableau IV.4 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 04. 57
Tableau IV.5 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 05. 58
Tableau IV.6 déperdition thermique à travers les différentes parois de Salle de prière. 58
Tableau IV.7.déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 07. 59
Tableau IV.8 déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réception..... 59
Tableau IV.9. Déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réunion. 60

Tableau IV.10.déperdition thermique à travers les différentes parois de foyer... 60
Tableau IV.11 .les différents coefficients pour les vérifications réglementaires.... 61
Tableau .IV.12 Montrant les différents coefficients des apports d'occupant..... 65
Tableau IV.13 Les valeurs de $\mathbf{C_{me}}$ 65
Tableau IV.14 les valeurs de $\mathbf{C_{cr}}$ 66
Tableau IV.15. Apports dus à l'éclairage..... 66
Tableau IV.16. Les infiltrations par les portes et fenêtres 67
Tableau IV.17.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 1 68
Tableau IV.18.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 2 69
Tableau IV.19.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 3 70
Tableau IV.20.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 4 71
Tableau IV.21.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 5 72
Tableau IV.22.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 6 73
Tableau IV.23.les apports à travers les différentes parois salle de prière. 74
Tableau IV.24.les apports à travers les différentes parois Foyer 75
Tableau IV.25.les apports à travers les différentes parois salle de la réunion 76
Tableau IV.26. Les apports à travers les différentes parois salle de réception 77
Tableau IV.27. Déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 1 78
Tableau IV.28 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 02. 78
Tableau IV.29. Déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 03. 79
Tableau IV.30 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 04. 79
Tableau IV.31 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 05. 80
Tableau IV.32. Déperdition thermique à travers les différentes parois de Salle de prière. 80
Tableau IV.33 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 07. 81
Tableau IV.34. Déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réception.. 81
Tableau IV.35 déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réunion. 82
Tableau IV.36 déperdition thermique à travers les différentes parois de foyer. 82
Tableau IV.37.les apports à travers les différentes parois bureaux № :1. 83
Tableau IV.38.les apports à travers les différentes parois bureaux №:2. 84
Tableau IV.39.les apports à travers les différentes parois bureau№:3. 85
Tableau IV.40.les apports à travers les différentes parois bureaux №:4. 86
Tableau IV.41.les apports à travers les différentes parois bureaux №:5 87
Tableau IV.42.les apports à travers les différentes parois bureaux №:6 88
Tableau IV.43.les apports à travers les différentes parois salle de prière. 89

Tableau IV.44.les apports à travers les différentes parois Foyer. 90
Tableau IV.45.les apports à travers les différentes parois salle de la réunion. 91
Tableau IV.46. Les apports à travers les différentes parois salle de réception. 92
Tableau IV.47.résumés du calcul des déperditions de l'immeuble avant amélioration.. 93
Tableau IV.48.résumés du calcul des déperditions de l'immeuble après amélioration. 93
Tableau III.49.Résumés du calcul des apports de l'immeuble avant amélioration. 94
Tableau IV.50.résumés du calcul des apports de l'immeuble après amélioration. 94
Tableau V.1. Coefficient de transmission thermique de la paroi (M.D.C), et l'investissement en fonction de l'épaisseur de polystyrène. 98
Tableau. V.2 Coefficient de transmission thermique de la paroi (M.S.C) et investissement en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène 101
Tableau. V.3. Coefficient de transmission thermique de la paroi (dalle) et investissement en fonction de l'épaisseur de polystyrène 103
Tableau. V.4. résumé d'économie d'énergie à travers les parois opaque en hiver. 105
Tableau. V.5. résumé d'économie d'énergie à travers les parois opaque en été 105
Tableau V.6. Correspondance entre les puissances d'une lampe fluo compacte et celle à incandescence. 109
Tableau V. 7. Éclairement naturelle 110

Liste des figures

Figure. I.1. Les couches d'un mur double cloison. 5
Figure. I.2. Les couches d'une dalle sans faux plafond.. 6
Figure. I.3. Les couches d'un Poteau. 7
Figure. I.4. les couches d'un mur simple cloison.. 8
Figure I.5. Les couches d'un Plancher simple.. 9
Figure. II.1. Diagramme de GLAZER pour mur double cloison. 19
Figure. II.2. Diagramme de GLAZER pour dalle sans faux plafond. 20
Figure. II .3. Diagramme de GLAZER pour le poteau. 21
Figure. II.4. Mousses organiques 25
Figure .II.5. Mousses inorganiques. 26
Figure. II.6. Mousses organiques. 26
Figure. II.7. Le liège 27
Figure. II.8. Isolants exceptionnels. 7
Figure. II.9. Parois homogènes 29
Figure. II.10. Dalles toiture plates classiques, à gauche sans protection, à droite avec protection de l'étanchéité. 29
Figure. II.11. Toiture inversées 30
Figure. II.12. Toitures et parois ventilées 30
Figure. II.13. Isolation entre deux parois. 31
Figure. II.14. Dalle planché. 32
Figure. II.15. Éléments d'enveloppes légères. 32
Figure. II.16. Isolation extérieure compacte. 33
Figure. II.17. Isolation transparente. 33
Figure. II.18. double vitrage 34
Figure. II.19. vitrage à base émissivité 35
Figure. II.20. Double vitrage et double vitrage à haut rendement 35
Figure. II.21. Variation du coefficient de transmission (K) et la résistance thermique en fonction de l'épaisseur (e) de polystyrène extrude 41
Fuguer.III.2.Transfert de chaleur par conduction 41
Figure.III.3. Transfert de chaleur par convectif 42
Figure III.4. Transfert de chaleur par rayonnement 43
Figure III.5. Bilan thermique élémentaire. .sur un mur simple.. 44
Figure. III.6. Schéma électrique équivalent d'un mur simple.... 44

Figure. III.7. Mur multicouches 45
Figure III.8.Schéma électrique équivalent d'un mur multicouche 45
Figure III.9. Schématisation d'un mur composite. 46
Figure. III.10. Schéma électrique équivalent d'un mur composite 46
Figure.III.11. A gauche, bâtiment mal isolé, à droite, bâtiment correct 47
Figure.III.12. les flux de chaleur à travers un bâtiment 48
Figure .V.1. L'épaisseur optimale en fonction de cout totale 97
Figure .V.5. Les lampes à incandescences. 105
Figure. V.6. Les lampe Duo compactes 106
Figure. V.7. Les lampes fluo compactes. 107
Figure. V.8. Lampes tubulaires fluorescentes 108

Nomenclature

S : Surface de l'ouvrant (m²)

$Allj$: Partie latente de l'apport interne (W)

$Alsj$: Partie sensible de l'apport interne (W)

As, Al : Apports internes de sensible et latentes (W)

$AINFs, AINFl$: Parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air (W)

APO: Apports par les parois opaques (W)

$ARENs$: Paries sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air (W)

AV: Apports à travers les parois (W)

$AVE\ (t)$: Apports dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées (W)

$AVT\ (t)$: Apports dus au gradient de température à travers les parois vitrées (W)

CSj: Coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne j. (–)

c : Coefficient lié à la nature de la construction et fonction de zone Climatique (W/m² °C)

DS : Déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur (W)

DT : Déperdition par transmission (W)

Du : Déperdition à travers les liaisons (W)

$Dlnc$: Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non conditionné (W)

$Dréf$: Déperditions de référence (W /m²°C)

DRs : Déperditions supplémentaire par infiltrations dues à l'effet de vent (W)

e : épaisseur de chaque couche (m)

FS : Facteur solaire de vitrage. (–)

$HSb,e\ (t)$: Humidité spécifique de base de l'air extérieur (°C)

HSi: Humidité spécifique de base de l'air intérieur (°C)

h: Coefficient de transfert de chaleur par conversion (W /m² °C)

hi , he: Coefficient de transmission thermique superficielle intérieure et extérieure (W /m² °C)

I_d: Rayonnement diffus maximal réel (W/m²)

I_t: Rayonnement total maximal (W/m²)

K : Coefficient de transmission thermique surfacique (W /m² °C)

$Kété$: Coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été (W /m²°C).

l : Longueur (m)

$Npvi\ (t)$:Coefficient d'amortissement relatif aux apports par ensoleillement à travers les

parois vitrées à l'heur considéré (–)

$pv\ ext$: Pression à l'extérieur (Pa)

pv : Pression de la vapeur d'eau après chaque couche de paroi (Pa)

q$voinf, i$: débit d'infiltration (m^3/h)

$qvan$: D bit d'air neuf (m^3/h)

$Rtot$: Résistance thermique totale de la paroi (m² °C / W)

R : Résistance de la paroi considérée (m² °C / W)

$Sint$: Surface intérieure totale de la paroi considérée (m²)

$Souv$: Surface d'ouverture dans les parois opaques (m²)

$SVomb$: Surface vitrée à l'ombre (m²)

$Sint$: Surface de la paroi verticale comptée de l'intérieur (m²)

$Souv$: Surface d'ouverture dans le mur (m²)

$SVens$: Surface vitrée ensoleillée à 15h TSV (m²)

$SVomb$: Surface vitrée ombrée à 15h TSV (m²)

$TSbi$: Température intérieure de base (°C)

$TSe\ (t)$: Température extérieure séchée à l'heur t (°C)

Tae: Température de l'air à l'extérieur (°C)

Tai: Température de l'air à l'intérieur (°C)

Te: Température à l'extérieur (°C)

Ti : Température à l'intérieur (°C)

Tpi: Température interne de la paroi (°C)

Tri: Température de ros e à l'intérieur (°C)

$T\infty$: Température du milieu environnant (°C)

Tp: Température de la paroi (°C)

V_h : Volume habitable (m^3)

λ : Conductivité thermique du matériau $(W\ m.\ °C)$

ϕext: Humidité relative à l'extérieur (%)

ϕint: Humidité relative à l'intérieur (%)

$\Delta Te\ (t)$: Différence équivalente de température à l'heur t. (°C)

π : Perméabilité à la vapeur d'eau $(kg/m.\ s)$

Résumé :

La conception des enveloppes des bâtiments s'intègre dans une démarche de maitrise de l'énergie et constitue de ce fait un enjeu primordial. Elle nécessite la connaissance des performances énergétique des composants de l'enveloppe.

L'étude d'un modèle de parois standard permettra de voir l'influence d'un compassant isolant (accessible sur le marche de la sous région) sur les échange entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur. Une étude du milieu définira le système d'isolation à adopter.

Quant à l'éclairage, elle constitue, mis à part la charge de climatisation, la plus grande source de consommation d'énergie électrique des bâtiments administratifs. Dans les zones ensoleillées, la combinaison de l'éclairage artificiel bien étudie avec des lampes fluorescentes et la lumière solaire permettront d'atteindre des facteurs de réduction sur la consommation.
Mots clés : Thermique des bâtiments, économie d'énergie, isolation thermique, éclairage.

Abstract:

The design of the buildings envelopes becomes integrated into an energy approach and establishes of this fact an essential stake. It requires the knowledge of the energy performances of the components of the envelope.

The study of a model of standard wall will allow to see the influence of an insulating component (accessible on the market of the under region) on the exchange between the inside of the building and the outside environment. A study of the midium will define the system of insulation to be adopted.

As for lighting, it establishes, set apart the load of air conditioning, the biggest electric energy consumption source of administrative buildings. In the sunny zones, the combination) of the artificial lighting studies well with fluorescent lamps and sunlight will allow achieving factor of reduction on the consumption.
Key words: Thermals of the buildings, energy saving, heat insulation, lighting.

ملخص :

إن تصميم أغلفة المباني هو جزئ مهم من إستراتجية التحكم في طاقتها الحرارية. بحيث يتطلب هذا التصميم معرفة المحصلات الطاقوية لأي مبنى .

إن دراسة نموذج الجدار العادي، يسمح بملاحظة تأثير العازل الحراري (المتوفر في السوق المحلية،بجودة عالية وبسعر معقول) على المبادلات الحرارية بين داخل المبنى ومحيطه الخارجي.

إن الإنارة تمثل مصدر مهم لاستهلاك الطاقة الكهربائية في المباني،حيث أن التنسيق بين الإنارة الاصطناعية و الإظائة الطبيعية يسمح بتحقيق عوامل تخفيض استهلاك الطاقة (من حيث عدد المصابيح وحمولتها).

كلمات المفاتيح: الطاقة في المباني ، توفير الطاقة، العزل الحرارية ، الإنارة.

Il est connu que, les bâtiments consomment une partie importante de l'énergie utilisée par la société plus de 70%, et en conséquence, ils sont source d'une partie non négligeable de la pollution. Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment:

- Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable ;
- La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage) ;
- Les transports (ascenseurs) ;
- L'éclairage ;
- Les communications (téléphone, radio, télévision) ;
- La production de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.).

Dans les climats tempérés et froids, la plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes. Dans les climats plus chauds, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce refroidissement, et l'assèchement de l'air (sous les tropiques) peut aussi être un grand consommateur d'énergie. Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il est nécessaire de savoir où agir. Il faut donc pouvoir prédire les flux d'énergie dans le bâtiment, afin d'agir là où les mesures d'économie d'énergie seront les plus efficaces et les mieux à même d'offrir un confort élevé.

La connaissance des flux d'énergie au travers d'un bâtiment est nécessaire à la prise de décisions ou à la planification de travaux, notamment pour les tâches suivantes:

- tenir compte de tous les critères voulus dans le choix de stratégies possibles lors de rénovation ou de construction d'ensemble d'immeubles. Parmi les critères à envisager, il y a non seulement le coût, l'esthétique ou l'habitabilité, mais aussi la consommation d'énergie.
- dimensionner correctement les installations énergétiques, en calculant la puissance de pointe minimum nécessaire;
- prévoir la consommation annuelle et la minimiser en choisissant la variante la plus économique globalement, tout en tenant compte du confort et des contraintes architecturales.

Diminuer la consommation d'énergie primaire en minimisant tous ces flux, en les faisant passer aux bons endroits et en captant au mieux la chaleur de l'environnement (énergie solaire, pompes à chaleur) est un problème où la physique a déjà apporté des solutions et qui continue à être étudié.

Les solutions à ce problème particulier peuvent entraîner des problèmes ailleurs, et en tous cas ont une influence sur les diverses caractéristiques du bâtiment. De ce fait, il ne faut pas se restreindre à des examens sectoriels pour résoudre des problèmes dans le bâtiment, mais toujours envisager toutes les conséquences d'une modification.

L'objectif de ce thème de recherche est la recherche des solutions techniques pour économiser l'énergie consommée dans un immeuble administratif dans les deux périodes de l'année (hivernal et estival).

Ce travail est structuré autour de cinq chapitres. Ainsi après avoir présenté la problématique du thème de recherche dans cette introduction, le premier chapitre concerne la désignation et la description de notre projet.

Dans le deuxième chapitre, une étude de la condensation dans la masse et la condensation superficielle et des notions générales sur l'isolation thermique et ces applications.

On traite dans le troisième chapitre des généralités sur les transferts de chaleur dans le secteur de bâtiment. Le chapitre quatre est consacré au calcul du bilan thermique dans les deux périodes de l'année (hivernale et estivale) et ce pour les deux types de construction étudiées (construction standard et avec isolation).

Le dernier chapitre on effectue une étude économique sur la construction et l'éclairage. Dans ce chapitre une analyse environnementale est ainsi présentée.

Enfin, ce travail est clôturé par une conclusion générale et des recommandations.

I.1. Introduction

Le thème du projet concerne l'économe d'énergie à travers un bloc administratif (centre hydraulique) situé dans la Wilaya de Médéa.

I .2. Le but de projet

Le but de ce travail est de montrer les possibilités de réduire la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment (exemple pris de bâtiment administratif) et ce en agis sauf sur certain paramètre liées à la construction tel que le choix des matériaux, conception, l'éclairage,…).

I .3. Situations géographiques du projet

Le centre hydraulique est situé dans la wilaya de Médéa 36.17N et qui culmine à 800m au dessus de niveau de la mer, le site est classifie dans la Zone ''B''.

I .4. Les conditions climatiques extérieures [1]

Le Tableau (**I.1.)** représente les conditions climatiques extérieures pour la zone B:

				Période Hivernale		Période Estivale	
Zone	Altitude (m)	Latitude	Longitude	T de base (°C)	L'humidité relative φ (%)	T de base (°C)	L'humidité relative φ (%)
B	1000	36.17° N	7.58° E	-2	70	35	28

Tableau. I.1. Les conditions climatiques extérieures pour la zone B.

I.5. Les conditions climatiques intérieures [1]

Le Tableau (**I.2.**) représente les conditions climatiques intérieures :

Désignation	Période Hivernale		Période Estivale	
	Ti (°C)	φ(%)	Ti (°C)	φ(%)
Les bureaux	21	50	24	55
Salle d'archive	21	50	24	55
Hall et cage d'escalier	18	50	24	55
Foyer	21	50	24	55
Salle de réunion	21	50	24	55

Tableau. I.2. Les conditions climatiques intérieures.

I .6. Cahier de charges de l'immeuble

D'après les plans architecturaux (annexe B), Le Cahier de charges de RDC du centre hydraulique est récapitulé dans le Tableau suivant :

Désignation du local	Nb d'occupants	Surface m²	φ (%)		T(C°)		Volume m^3
			Hiver	Eté	Hiver	été	
Foyer	10	69,52	50	55	21	24	269,73
Salle de réunion	9	38,11	50	55	21	24	147,86
Salle réception	2	16	50	55	21	24	62,08
Salle de prière	7	28,56	50	55	21	24	110,81
Salle d'archive	1	23,53	50	55	20	24	91,29
Bureau personnelle	1	21,87	50	55	21	24	84,85
Bureau de Marché	1	15,79	50	55	21	24	61,26
Bureau de cadre comptable	1	17,93	50	55	21	24	69,56
Bureau de secrétaire	1	15,60	50	55	21	24	60,52
Bureau de chef de service	1	21,83	50	55	21	24	84,70

Tableau. I.3. Cahier de charges d'immeuble.

I .7. Calcul des coefficients de transmition thermique surfacique (K) pour les différentes parois

On va déterminer en premier lieu les différents coefficients des transmissions thermiques surfaciques (K) pour chaque type de construction que ça soit murs a simple cloison ou à double cloison plancher, dalle toiture, portes et fenêtres.

Le coefficient (K) est donné par la formule suivante :

$$K = \frac{1}{R_{tot}} \qquad (I.1)$$

Avec :

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i} + \sum_{i}^{n} \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e} \qquad (I.2)$$

K : Coefficient de transmission thermique surfacique (w/m². °C).

R_{tot} : Résistance thermique totale de la paroi (m². °C /w).

h_i , h_e: Coefficient de transmission thermique superficielle intérieur et extérieur (w/m². °C).

e_i : Épaisseur de la couche du matériau (m).

λ_i : Conductivité thermique du matériau (w/m^{-1}. $°C^{-1}$).

a) Mur double cloison

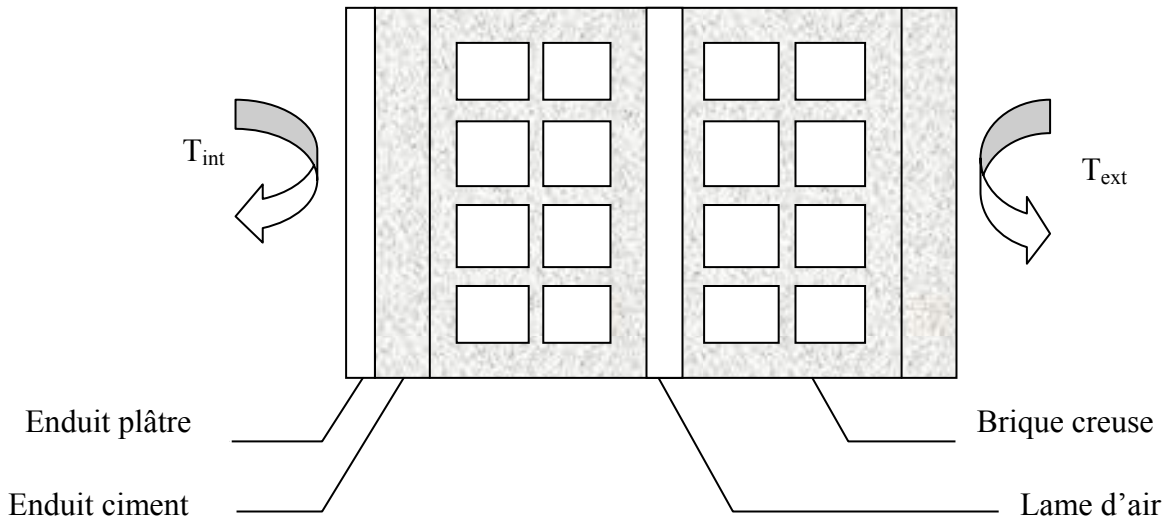


Figure. I.1. Les couches d'un mur double cloison.

Le tableau (**I.4.**) représente le coefficient de transmission thermique (K) pour un mur double cloison :

Couche	**Composants du mur**	**e(m)**	**Conductivité thermique λ (W/m. C°)**	**Résistance thermique R (m^2.C°/W)**
-	Air intérieur			0,11
1	Enduit intérieur plâtre	0,005	0,35	0,014
2	Enduit intérieur ciment	0,015	1,4	0,01
3	Brique creuse	0,1	0 ,5	0,2
4	Lame d'air	0,1	------	0,16
5	Brique creuse	0 ,1	0 ,5	0,2
6	Enduit ciment extérieur	0.015	1,4	0,01
-	Air extérieur			0,06
$K = \frac{1}{\sum R} = 1{,}30$ W/m^2. °C				

Tableau. I.4. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour un mur double cloison.

b) Dalle sans faux plafond

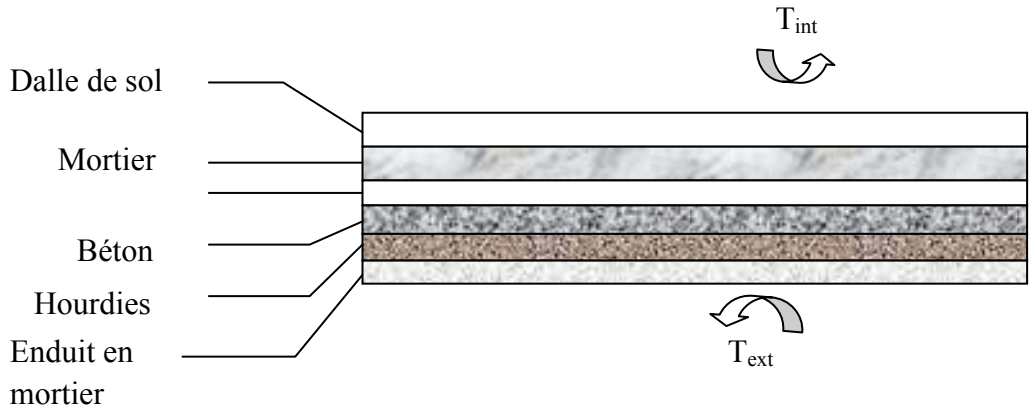


Figure. I.2. Les couches d'une dalle sans faux plafond.

Le tableau (**I.5.**) représente le calcul du Coefficient de transmission thermique pour une dalle sans faux plafond :

Couche	**Structure**	**Épaisseur(m)**	**Conductivité thermique (λ) (w/m². °C).**	**Résistance thermique (m². °C /w).**
-	Air intérieur	-	-	0,17
1	Dalle de sol	0,03	1	0,03
2	Mortier	0,02	1,4	0,014
3	Lit de sable	0,03	0,6	0,05
4	Béton plain	0,08	1,75	0,045
5	Hourdis	0,12	1	0,12
6	Enduit ciment	0,015	1,4	0,01
-	Air de dessous	-	-	0,05
$K = \frac{1}{\sum R} = 2{,}037\ W/m^2.°C$				

Tableau. I.5. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour une dalle sans faux plafond.

c) Poteau

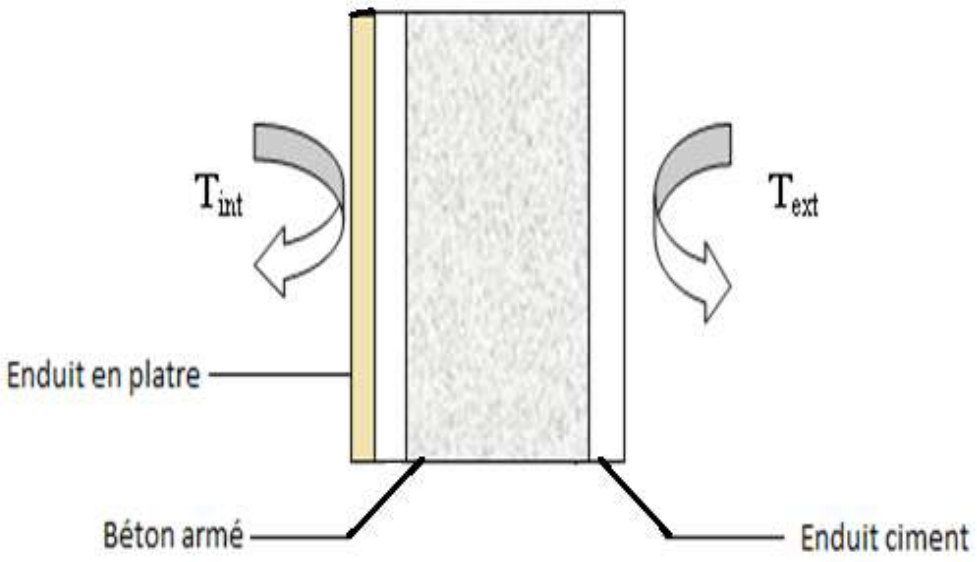


Figure. I.3. Les couches d'un Poteau.

Le tableau (**I.6**) représente le calcul du Coefficient de transmission thermique pour un poteau **:**

couche	**Structure**	**Épaisseur(m)**	**Conductivité thermique (λ) (w/m². °C).**	**Résistance thermique (m². °C /w).**
-	Air intérieur	**-**	**-**	0,11
1	Enduit en plate	0,005	0,35	0,014
2	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010
3	Béton armée	0,35	2,4	0,14
6	Enduit ciment	0,015	1,4	0,010
-	Air de dessous	**-**	**-**	0,06
$K = \frac{1}{\sum R} = 2{,}90$ w /m². °C				

Tableau. I.6. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour un poteau.

d) Mur simple cloison

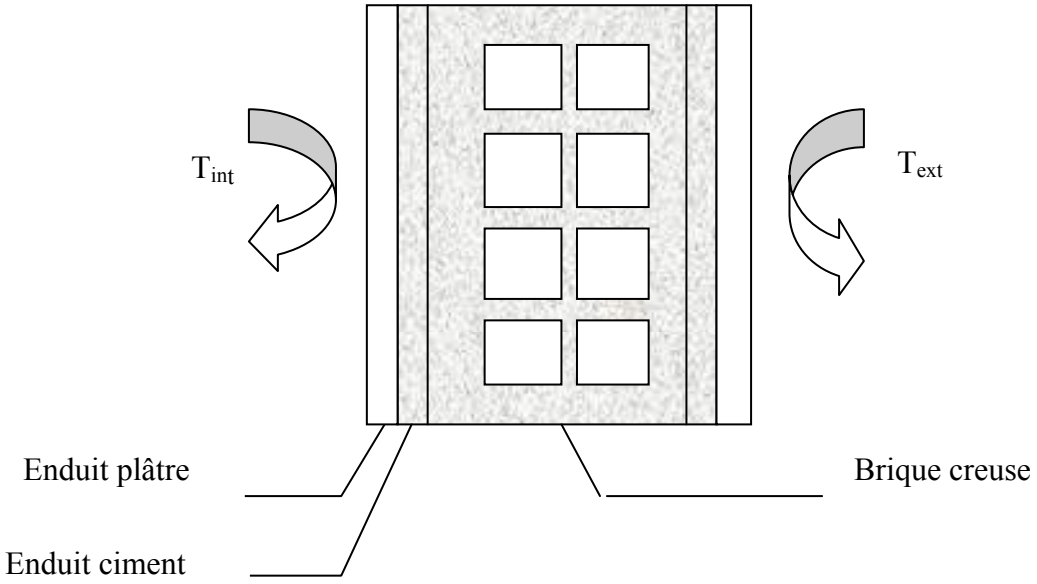


Figure. I.4. Les couches d'un mur simple cloison.

Le tableau (**I.7**) représente le calcul du Coefficient de transmission thermique pour un mur simple cloison :

Couche	**Structure**	**Épaisseur(m)**	**Conductivité thermique (λ) (w/m². °C).**	**Résistance thermique (m². °C /w).**
-	Air intérieur	-	-	0,11
1	Enduit en plâtre	0,005	0,35	0,014
2	Enduit en ciment	0,015	1,4	0,01
3	Brique creuse	0,1	0,5	0,2
6	Enduit en mortier	0,015	1,4	0,01
	enduit en plate	0,005	0,35	0,014
-	Air intérieur	-	-	0,11
$K = \frac{1}{\sum R} = 2{,}13\ W/m^2.°C$				

Tableau. I.7. Coefficient de transmission thermique surfacique(K) pour le mur simple cloison.

e) d'après le DTR on a la valeur de (K) pour un planche simple est égale : 1(W/m² °C).

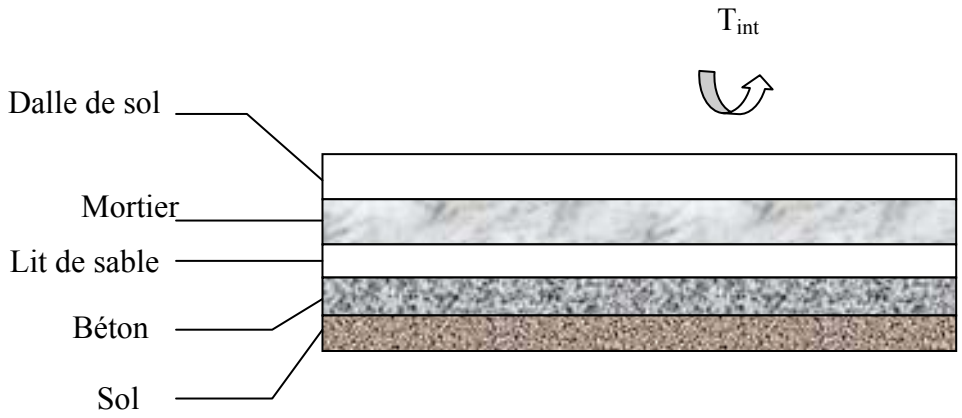


Figure I.5. Les couches d'un Plancher simple.

f) Les autres Coefficients de transmissions thermiques surfaciques [1]

D'après le DTR on a les valeurs de (K) pour les différents éléments de conception donnée dans le tableau suivant :

L'Elément	**L'Epaisseur** (m)	**Coefficient de transmission thermique (K)** (w/m². °C).
Vitrage simple	0,01 à 0,03	5,8
Double vitrage	0,06 à 0,1	3,1
Porte opaque en bois	----	2
Plancher simple	----	1

Tableau. I.8. Coefficients de transmissions thermiques surfaciques (K) pour les autres éléments.

g) Résumé des Coefficients de transmissions thermiques surfaciques

Le tableau (**. I.9**) représente un résumé des coefficients de transmissions thermiques (K) des murs sans isolant :

Les coefficients de transmission K sans isolation	
Les coefficients K période hiver	**Les coefficients $K_{été}$ période estivale**
$\text{M. S. C} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}468} = 2{,}13\ W/m^2.°C$	$\text{M. S. C} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{1{,}067} = 2{,}28\ W/m^2.°C$
$\text{M. D. C} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}764} = 1{,}30\ W/m^2.°C$	$\text{M. D. C} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}734} = 1{,}36\ W/m^2.°C$
$\text{Dalle} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}336} = 2{,}037\ W/m^2.°C$	$\text{Dalle} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}389} = 2{,}60 W/m^2.°C$
$\text{POTEUX} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}344} = 2{,}90\ W/m^2.°C$	$\text{POTEUX} : K = \frac{1}{\sum R} = = 2{,}56\ W/m^2.°C$
$\text{Sol} = 1 W/m^2.°C$	$\text{sol} : K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0{,}892} = 1{,}12\ W/m^2.°C$
$\text{Simple vitrage} = 5{,}8\ W/m^2.°C$	$\text{Simple vitrage} = 5{,}8\ W/m^2.°C$

Tableau. I.9. Coefficients de transmissions thermiques surfaciques(K) pour tous Les éléments de conception sans isolant.

Le tableau (I.10) représente un résumé des coefficients de transmissions thermiques (K) avec l'isolant :

Les coefficients de transmissions K avec l'isolant polystyrène extrude de (0,05m)	
Les coefficients K période hiver	Les coefficients $K_{été}$ période estivale
M. S. C : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,25} = 0,44\ W/m^2.°C$	M. S. C : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,81} = 0,35\ W/m^2.°C$
M. D. C : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,55} = 0,39\ W/m^2.°C$	M. D. C : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,52} = 0,40\ W/m^2.°C$
Dalle : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,12} = 0,47\ W/m^2.°C$	Dalle : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,12} = 0,46\ W/m^2.°C$
POTEUX : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,13} = 0,46\ W/m^2.°C$	POTEUX : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,18} = 0,46\ W/m^2.°C$
Sol $= 0,90\ W/m^2.°C$	sol : $K = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{2,77} = 0,90\ W/m^2.°C$
D. V $= 3,1\ W/m^2.°C$	D. V $= 3,1\ W/m^2.°C$

Tableau. I.10. Coefficients de transmissions thermiques surfaciques(K) pour tous Les éléments de conception avec isolant (polystyrène extrudé)

I .8.Vérification de la résistance thermique [1]

La résistance thermique minimale est un facteur très important et qu'on doit prendre en considération pour les calculs thermiques concernant la protection du bâtiment considéré, afin d'éviter le phénomène de condensation sous les deux aspects suivants :

- La condensation des vapeurs d'eau sur la surface interne des parois.
- La condensation des vapeurs d'eau à l'intérieur des parois.

La résistance thermique doit vérifier la condition suivant **[2]**

$$R > \left[\frac{T_{ai} - T_{ae}}{T_{ai} - T_{ri}}\right] \times \frac{1}{h_i} \qquad (I.3)$$

Avec :

R : la résistance de la paroi considérée (m^2. °C/w).

T_{ai} : la température de l'aire à l'intérieur (°C).

T_{ae} : la température de l'aire à l'extérieur (°C).

h_i : le coefficient d'échange superficiel interne (w/m^2. °C).

T_{ri} : la température de rosée à l'intérieur (°C).

Donc d'après le diagramme psychrométrique on trouve les températures de rosées

Type de locale	**Température** (°C)	**L'humidité relative (%)**	**Température de rosée (°C)**	**coefficient d'échange superficiel h_i**
Bureau, salle d'attente etc.	21	50	10	9,09
Halle Cages d'escaliers	18	50	8	

Tableau. I.11 La Températures de rosée.

Pour T=18 °C :

$$R > \left[\frac{T_{ai}-T_{ae}}{T_{ai}-T_{ri}}\right]\frac{1}{h_i} = 0{,}17$$

Pour T=21 °C :

$$R > \left[\frac{T_{ai}-T_{ae}}{T_{ai}-T_{ri}}\right]\frac{1}{h_i} = 0{,}19$$

Le tableau (I.12) représente les résistances thermiques des parois en contact avec l'extérieur **:**

Type de paroi	**Résistance thermique (w/m^2. °C)**
Mur double cloison	0,77
Plancher simple	1
Dalle sans faux plafond	0.49

Tableau. I.12. Les résistances thermiques des parois en contact avec l'extérieur.

I.9. Conclusion

On remarque que les valeurs des résistances thermiques sont supérieures à la résistance thermique minimale. Par conséquent le critère de la résistance thermique est vérifié pour tous les éléments du bâtiment.

II.1. Introduction

L'air chargé de vapeur d'eau ce déplace dans les parois par diffusion au sien des matériaux. Si en un point de la paroi, la température de rosé est atteinte, l'air va se condenser et charger le mur en humidité. La condensation peut se manifester sous deux formes différentes à savoir : la condensation superficielle (en surface) et la condensation interne (dans la masse).

II .2. Étude de la condensation

II .2.1. La condensation superficielle [2, 2 bis]

Ce type de condensation se produit sur les faces internes des parois lorsque la température de celle–ci est inférieure à celle du rosée de l'air intérieur pour éviter ce phénomène il faut que $T_{pi}>T_{ri}$.

Avec :

T_{pi} : température interne de la paroi.

T_{ri} : température de rosée interne de la paroi.

Le flux de chaleur traversant deux milieux différents est donné par l'équation suivante :

$$Q = hi\,(Ti - Tpi) = k\,(Ti - Te) \qquad (II.4)$$

D' où :

$$Tpi = Ti - \left[(Ti - Te)\frac{k}{h_i}\right] \qquad (II.5)$$

Avec :

Q : flux de chaleur à travers le mur (w).

T_i : la température à l'intérieur (c°).

T_e : la température à l'extérieur (c°).

h_i : le coefficient d'échange superficiel interne (w/m^2. c°).

K : le coefficient surfacique (w/m^2. c°).

On utilise le diagramme psychrométrique pour déterminer la température du rosée à l'intérieure de l'immeuble.

On calcul T_{pi} pour chaque paroi en contact avec l'extérieur :

T_i =21 C°, T_e = -2C°, h_i = 9.09.

Ensuite, on fait la comparaison entre T_{pi} et T_{ri}

a) Mur double cloison

$$\text{Tpi} = 21 - \left[(21-2)\frac{1,3}{9,09}\right] = 18,28°\text{C}$$

b) Mur simple cloison

$$\text{Tpi} = 21 - [(21-2)\frac{2,13}{9,09}] = 16,54°\text{C}$$

c) Dalle sans faux plafond

$$\text{Tpi} = 21 - [(21-2)\frac{2,037}{9,09}] = 16,00°\text{C}$$

d) Poteau

$$\text{Tpi} = 21 - [(21-2)\frac{2,90}{9,09}] = 15,00°\text{C}$$

e) Vitrage double

$$\text{Tpi} = 21 - [(21-2)\frac{2,51}{9,09}] = 15,40°\text{C}$$

Le tableau (**II.1**) représente la comparaison entre les températures des parois intérieures et la température de rose :

Type de paroi	**Coefficient surfacique (w/m^2. °C).**	**La température de la paroi intérieure T_{pi} (°C).**	**Température de rosée de la paroi intérieure T_{ri} (°C).**
Mur double cloison	1,30	18,28	10
Mur simple cloison	2,13	16,54	
Poteau	2,90	15	
Dalle sans faux plafond	2,037	16,00	
double Vitrage	2,51	15.40	

Tableau. II.1. La comparaison entre T_{pi} et T_{ri}.

II .2.2. La condensation dans la masse

Dans nos climats tempérés ou froids, les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur peuvent être importantes. L'air chaud à une plus grande capacité à contenir de la vapeur d'eau et la pression de la vapeur est souvent supérieure à l'intérieur qu'à l'extérieur. Ce différentiel de pression de la vapeur engendre une migration de vapeur par diffusion vers l'extérieur. Au fur et à mesure qu'elle traverse les différents matériaux constituant l'enveloppe, la vapeur se rapproche de l'extérieur et se refroidit progressivement. Si la température du point de rosée est atteinte, la vapeur se condense .On parle alors de condensation dans la masse. Afin du prévoir et d'éviter ce phénomène il faut tout d'abord calculer la température des différentes couches qui composent chaque type des parois, pour en suite la différente pression partielle de la vapeur pour chaque couche et les comparer en suite avec la différente pression de saturation sur un diagramme de GLAZER.

II .2.2.1.Calcul de température de chaque couche des parois en contacte avec l'extérieur

a) Mur à double cloison

$$Q = \frac{(T_i - T_e)}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_e}\right)} = \frac{(T_i - T_2)}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1}\right)} = \frac{(T_i - T_3)}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2}\right)} \qquad (II.6)$$

$$T_3 = Ti - \left\{ \frac{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2}\right)}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_e}\right)} \times (T_i - T_e) \right\} \qquad (II.7)$$

Ti=21°C

$T1=T_{Pi}=18{,}28°C$

$T2 = 21 - 1{,}30 \times 19(0{,}11 + 0{,}014) = 18{,}00°C$

$T3 = 21 - 1{,}30 \times 19\ (0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01) = 17{,}50°C$

$T4 = 21 - 1{,}30 \times 19\ (0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2) = 12{,}75°C$

$T5 = 21 - 1{,}30 \times 19\ (0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2 + 0{,}16) = 9{,}00°C$

$T6 = 21 - 1{,}30 \times 19\ (0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2 + 0{,}16 + 0{,}2) = 3{,}86°C$

$T7 = 21 - 1{,}30 \times 19\ (0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2 + 0{,}16 + 0{,}2 + 0{,}01) = 3{,}61°C$

$T_e=2°C$

b) Poteau

Ti = 21°C

T1 = Tpi = 15°C

$T2 = 21 - 2{,}90 \times 19(0{,}11 + 0{,}014) = 14{,}16°C$

$T3 = 21 - 2{,}90 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}010) = 13{,}61°C$

$T4 = 21 - 2{,}90 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}010 + 0{,}0344) = 11{,}72°C$

$T5 = 21 - 2{,}90 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}010 + 0{,}0344 + 0{,}010) = 11°C$

Te = 2°C

c) Dalle sans faux plafond

Ti = 21°C

T1 = Tpi = 16 , 40°C

$T2 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03) = 13{,}00°C$

$T3 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03 + 0{,}014) = 12{,}70°C$

$T4 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03 + 0{,}014 + 0{,}05) = 10{,}70°C$

$T5 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03 + 0{,}014 + 0{,}05 + 0{,}045) = 9{,}00°C$

$T6 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03 + 0{,}014 + 0{,}05 + 0{,}045 + 0{,}12) = 4{,}40°C$

$T7 = 21 - 2{,}037 \times 19(0{,}17 + 0{,}03 + 0{,}014 + 0{,}05 + 0{,}045 + 0{,}12 + 0{,}01) = 4{,}00°C$

Te = 2°C

d) Mur simple cloison

Ti = 21°C

T1 = Tpi = 18 °C

$T2 = 21 - 2{,}13 \times 19(0{,}11 + 0{,}014) = 16{,}00°C$

$T3 = 21 - 2{,}13 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01) = 15{,}51°C$

$T4 = 21 - 2{,}13 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2) = 7{,}50°C$

$T5 = 21 - 2{,}13 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2 + 0{,}01) = 7{,}00°C$

$T6 = 21 - 2{,}13 \times 19(0{,}11 + 0{,}014 + 0{,}01 + 0{,}2 + 0{,}01 + 0{,}014) = 6{,}50°C$

Te = 2°C

II .2.2.2.Calcul de la pression de saturation pour chaque couche dont les parois sont en contact avec l'extérieur

En utilisant la méthode d'interpolation pour déterminer les pressions de saturation qui correspondent à chaque température.

a) Mur à double cloison

Le Tableau ci-dessous représente la pression de saturation entre les couches dans un mur à double cloison :

	T_i	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T_e
Température (°C)	21	19,24	18	17.50	12.75	9	3,86	3,61	2
Pression de saturation P(Pa)	2486	2230 ,6	2006 ,3	2000	1473.25	1148	805,3	791,55	705

Tableau. II.2. Pressions de saturation dans toutes les couches de mur à double cloison.

b) *Dalle sans faux plafond*

Le Tableau ci-dessous représente la pression de saturation entre les couches de la dalle sans faux plafond :

Température (°C)	T_i	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T_e
	21	16.40	13	12.70	10.70	9.00	4,4	4	2
Pression de saturation (Pa)	2486	1865	1497	1468,5	1286,5	1148	836.6	813	705

Tableau. II.3. Pressions de saturation dans les couches de la dalle sans faux plafond.

c) Poteau

Le Tableau ci-dessous représente la pression de saturation entre les couches dans un poteau.

Température (°C)	T_i	T1	T2	T3	T4	T5	T_e
	21	15	14,16	13.61	11,72	11	2
Pression de saturation (Pa)	2486	1704	1581	1558	1376	1312	705

Tableau. II.4. Pressions de saturation dans les couches d'un poteau.

II .2.2.3. Calcul de la pression partielle pour chaque couche dont les parois sont en contact avec l'extérieur [2]

On détermine la valeur de la pression partielle par la formule suivante :

$$P\upsilon = p\upsilon ext + \left[\left(\frac{e}{\pi i}\right) \times \frac{(p_{\upsilon int} - p_{\upsilon ext})}{\Sigma(\frac{e}{\pi})}\right] \quad (II.8)$$

Avec :

Pp : pression de la vapeur d'eau après chaque couche de la paroi (Pa).

$p_{\upsilon ext}$: la pression à l'extérieur (Pa).

$P_{\upsilon int}$: la pression à l'intérieur (Pa).

e : l'épaisseur de chaque couche (m).

λ : conductivité de chaque couche ($w/m^2.c^\circ$).

π : la perméabilité à la vapeur d'eau (kg/m.s).

$P\upsilon ext = Ø_{ext} \times p_{sext.}$

$P_{\upsilon int} = Ø_{int} \times p_{sint.}$

$Ø_{ext}$: l'humidité relative à l'extérieur (%).

$Ø_{int}$: l'humidité relative à l'intérieur (%).

P_{sext} : pression de saturation à l'extérieur (Pa).

P_{sint} : pression de saturation à l'intérieur (Pa).

$P\upsilon ext = 0.70 \times 705 = 493,5 Pa.$

$P_{\upsilon int} = 0.5 \times 2486 = 1243 Pa.$

a) Mur double cloisons

Le tableau (II.5) représente la pression partielle entre les couches du mur à double cloison **:**

Couche	Composant du mur	e(m)	π ($\frac{ms}{kg}$) [3]	$\frac{e}{\pi}$ ($\frac{kg}{s}$)	P_V(Pa)
1	Enduit intérieur plâtre	0.005	0.011	0.45	493,50
2	Enduit intérieur ciment	0.015	0.0042	3.57	493,842
3	Brique creuse	0.1	0.007	14.28	498,97
4	L'âme d'air	0.1	0.09	1.11	493,53
5	Brique creuse	0.1	0.007	14.28	498,97
6	Enduit ciment extérieur	0.015	0.0042	3.57	497,07

Tableau. II.5. Pression partielle d'un mur double cloison.

La figure suivante représente le diagramme de GLAZER pour le mur double cloison :

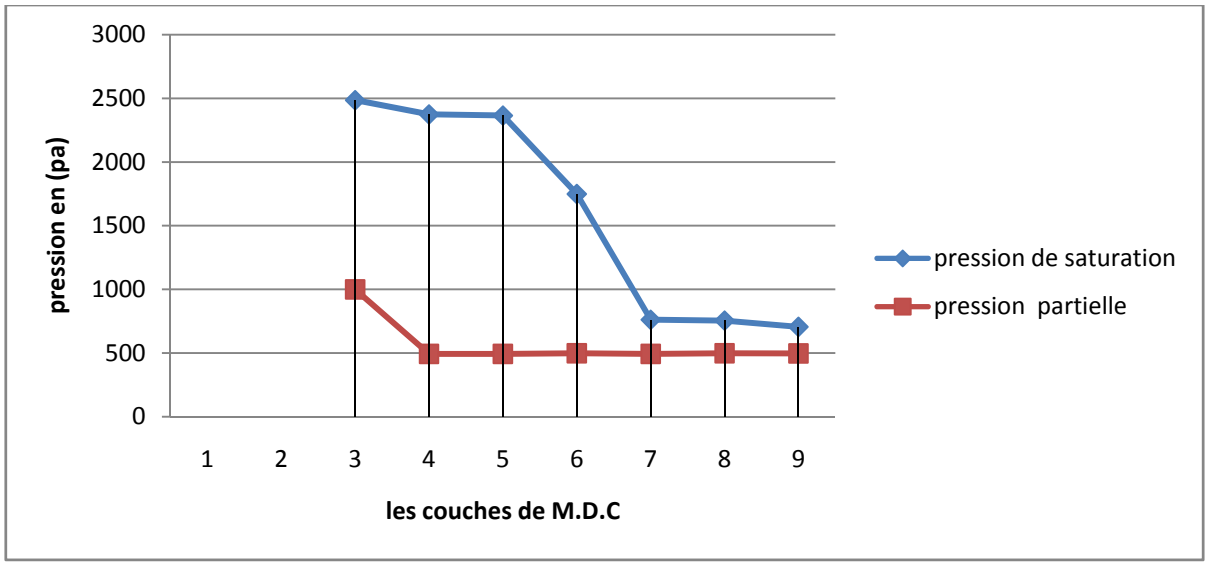


Figure. II.1. Diagramme de GLAZER pour mur double cloison.

b) Dalle sans faux plafond

Le tableau ci-dessous représente la pression partielle entre les couches de la dalle sans faux plafond :

Couche	Composants due la dalle	e (m)	π ($\frac{ms}{kg}$) [6]	$\frac{e}{\pi}$ ($\frac{kg}{s}$)	P_V(Pa)
1	Dalle de sol	0.03	0.0055	5.45	546,97
2	Mortier	0.02	0.0042	4.76	540,18
3	Lit de sable	0.02	10^{-3}	300	787,59
4	Béton plain	0.08	0.003	26.66	754,91
5	hourdis	0.12	0.02	6	552,31
6	Enduit ciment	0.012	0.0042	3.57	528,51

Tableau. II.6. Pression partielle de la dalle sans faux plafond.

La figure suivante représente le diagramme de GLAZER pour la dalle sans faux plafond :

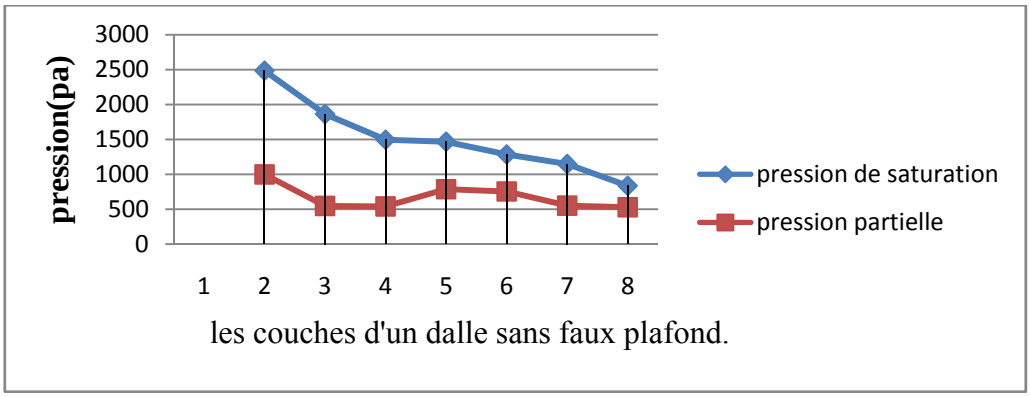


Figure. II.2. Diagramme de GLAZER pour dalle sans faux plafond.

c) Poteau

Le tableau (II.7.) représente la pression partielle entre les couches d'un poteau :

Couche	Composants due la dalle	e (m)	π ($\frac{ms}{kg}$) [6]	$\frac{e}{\pi}$ ($\frac{kg}{s}$)	P_V(Pa)
1	Enduit en plate	0.012	0.0042	3.57	495,64
2	Enduit en ciment	0.03	0.0055	5.45	498,41
3	Béton armé	0.08	8,57 10^{-2}	26.66	499,24
4	Enduit en ciment	0.012	0.0042	3.57	499,93

Tableau. II.7. Pression partiale d'un poteau.

La figure suivante représente le diagramme de GLAZER pour le poteau :

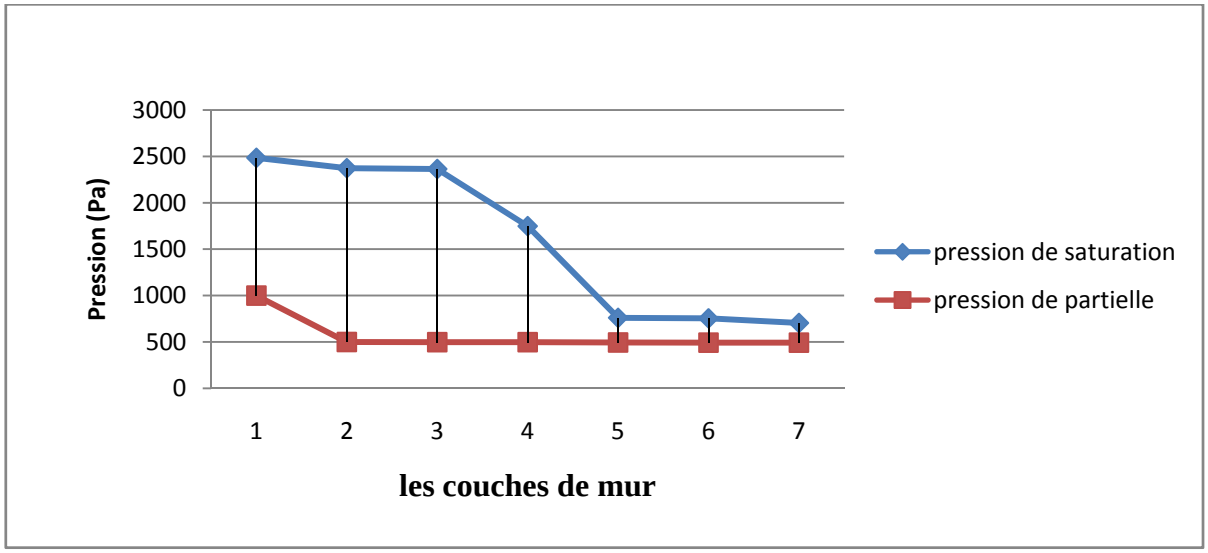


Figure. II .3. Diagramme de GLAZER pour le poteau.

L'analyse des résultats obtenus qui sont représentés sur les diagrammes de GLAZER montrent l'absence de la condensation dans la masse dans tous les parois en contacte avec l'extérieur.

II.3.L'isolation thermique

II.3.1. Introduction

La conception des enveloppes des bâtiments s'intègre dans une démarche de maîtrise de l'énergie et constitue de ce fait un enjeu primordial. Elle nécessite la connaissance des performances énergétiques des composants de l'enveloppe. L'étude d'un modèle de paroi standard et d'une paroi compose d'un isolant permettra de voir l'influence d'un isolant sur les échanges entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur. Une étude du milieu définira le système d'isolation à adopter.

L'isolation joue un rôle fondamental pour la réduction des consommations énergétiques et également pour créer un espace de vie sain et plus confortable. En hiver, l'isolation permet de garder la chaleur à l'intérieur et donc de limiter les déperditions thermiques du bâtiment. En été, elle permet également de limiter le flux de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment.

II.3.2. Caractéristiques des isolants

Chaque isolant est caractérisé par un ensemble de propriétés physiques bien précises qui permettent à la fois de les comparer entre eux et de définir leur application la plus appropriée. Nous pouvons dissocier deux types de propriétés ou de caractéristiques :

a) Les caractéristiques statiques [4]

- ***La conductivité thermique (λ) :*** La conductivité thermique permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant. Elle s'exprime en (W/m k)
- ***La résistance thermique (R) :*** La résistance thermique est utilisée pour quantifier le pouvoir isolant des matériaux pour une épaisseur donnée. Elle s'exprime en m².K/W. Une paroi est d'autant plus isolante que sa résistance thermique est élevée.
- ***La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (μ) :*** La vapeur d'eau diffuse au travers des matériaux, surtout s'ils sont poreux, et tend à se condenser dans les zones froides, donc notamment du côté froid de la couche isolante. Pour limiter les risques de dégâts dus à la condensation, on peut réduire le flux de vapeur d'eau en plaçant des matériaux qui offrent une forte résistance à la diffusion de vapeur d'eau. L'étanchéité à l'air doit être conjointement assurée.
- ***Le coefficient de transmission surfacique (K) :*** Pour caractériser une paroi, on utilise souvent le coefficient de transmission surfacique (*K*). Ce coefficient correspond à l'inverse de la résistance thermique ***R***. Il s'exprime en (W/m².K) Il représente le flux de chaleur a travers 1m² de paroi pour une différence de température de 1°C entre les deux environnements sépares par la paroi. Plus **K** est faible, plus La paroi n'est isolante.
- ***Résistance mécanique :*** L'isolation des dalles, des planchers, ou des ouvrages souterrains nécessite des matériaux qui résistent à la compression. La résistance des isolants à la compression est mesurée par la contrainte nécessaire pour diminuer l'épaisseur d'un échantillon de 10%. Cette contrainte s'exprime en milliers de Pascals [kPa]. La résistance à la compression doit être d'au moins 10 kPa pour l'utilisation en toiture plate. Certains isolants comme la mousse de verre ou semi isolants comme le béton cellulaire autoclave sont peu élastiques et ne se compriment pas autant. On utilise alors la contrainte à la rupture. L'isolation extérieure compacte et les toitures plates non chargées nécessitent un isolant qui résiste dans une certaine mesure à la traction, de manière que les couches d'isolant ne se séparent pas sous l'effet des forces de succion du vent. La résistance à la traction est donc mesurée dans le sens de l'épaisseur des panneaux.

C'est la contrainte (en kPa) nécessaire à séparer le panneau en deux ou plusieurs parties. Un matériau isolant doit avoir une résistance supérieure à 6 kPa pour être utilisé en isolation extérieure compacte.

- ***Résistance au feu :*** Pour des raisons de sécurité évidentes, il est interdit d'utiliser des matériaux de construction facilement inflammables.
- ***Stabilité dimensionnelle et résistance à la chaleur :*** Les matériaux isolants utilisés en toiture plate doivent résister à long terme aux températures élevées (70 °C et plus).
- ***Qualités acoustiques :*** Certains matériaux isolants sont utilisés soit pour atténuer les bruits de chocs, soit pour absorber les bruits aériens. Dans le premier cas, ils doivent être mous tout en présentant une certaine résistance à la compression. Dans le second cas, ils doivent être perméables à l'air tout en offrant une certaine résistance, ce qui permet d'absorber les ondes acoustiques par frottement de l'air contre les composants (fibres, parois de bulles ouvertes) du matériau.

b) Les caractéristiques dynamiques [4]

- ***L'inertie thermique des matériaux :*** L'inertie thermique est la capacité d'un corps à stocker de la chaleur. Elle est caractérisée par la capacité thermique. Ce comportement des matériaux est un principe fondamental pour la conception bioclimatique des bâtiments. Elle contribue au confort de l'habitation en atténuant les variations des pointes de températures. En hiver, une forte inertie permet d'emmagasiner la chaleur de la journée due aux apports solaires puis de la restituer plus tard dans la journée lorsque la température extérieure commence à chuter. En été, une forte inertie liée à une ventilation nocturne permet d'atténuer les surchauffes durant la journée.
- ***Capacité thermique*** **:** La capacité thermique (volumique) d'un matériau représente la quantité totale de la chaleur que 1 m³ de matériau est capable de stocker pour une augmentation de température de 1 °C. Elle est exprimée par le produit de la densité du matériau (ρ en kg/m³) et de sa chaleur spécifique (C en J/kg. K). Elle est donc notée ρ.c, et exprimée en (KJ/m³. K). Plus la capacité thermique d'un matériau n'est grande, plus il est capable de stocker de la chaleur.
- ***Diffusivité thermique :*** La diffusivité thermique d'un matériau est associée à la vitesse à laquelle celui-ci monte en température lorsqu'il est soumis à une source de chaleur. Elle se calcule par le rapport (λ/ρ.c) et s'exprime en m²/s. Plus la diffusivité thermique est élevée, plus la température du matériau évoluera rapidement.

- ***Effusivité thermique :*** L'effusivité thermique d'un matériau est associée à la quantité de chaleur que le matériau est capable d'absorber lorsqu'il est soumis à une source de chaleur pendant un certain temps. Elle est calculée par la relation $(\lambda.\rho c)^{1/2}$ et s'exprime en $J/m^2.K.s^{-1/2}$. Plus l'effusivité thermique est élevée, plus la quantité d'énergie absorbée par le matériau en un certain temps est grande. L'effusivité thermique est aussi liée à la température de contact, et un matériau ayant une effusivité faible sera « chaud » au toucher.

Le tableau (II.8) [5] représente les propriétés thermodynamique de quelque matériau : ++ Très élevé, + élevé, 0 moyen/acceptable, - bas, -- très bas, case vide: ne s'applique pas.

Applications / Matériau	Pouvoir isolant	Densité	Résistance au feu	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau	Résistance à 10% de compression [kPa]	Résistance à la traction [kPa]	Étanchéité à l'air	Résistance à la chaleur.	Absorption acoustique bruits de choc	Absorption acoustique
Laine minérale légère	+	--	+ +	--	--	--	--	+		++
Laine minérale dense	++	-	+ +	--	0	-	--	++	++	+
Mousse de verre	+	+	+ +	++	++	++	++	++	--	
Béton cellulaire	--	+ +	+ +	-	++	+	+	++	--	
PUR	++	-	0	-	+	+	0	++	-	--
Urée Formaldéhyde			0	-	+	+	0	++	-	--
PS expansé	+	--	+	+	+	+	0	0		
PS extrudé	++	0	+	++	+	++	0	0	-	--
Fibres de bois	0	+	0	0	+	--	-	+	+	++
Paille et ciment	0	+ +	+	0	+	0	-	+	0	+
Liège	+	+	+	+	+	0	+	++	+	-

Tableau. II.8. Qualités des quelques matériaux isolants.

II.3.3. Les différents matériaux d'isolations dans le marché [5 , 5bis]

a) ***Matériaux fibreux inorganiques***

La fibre de verre (ISOVER) et la laine de roche (ROCKWOOL, FLUMROC) sont tous deux fabriqués en fibres par centrifugation d'un liquide vitreux obtenu par fusion de minéraux. Les fibres sont enduites d'une colle (bakélite) et calandrées pour en faire des nattes ou des plaques. Ces matériaux présentent une excellente résistance au feu et de bonnes qualités acoustiques. Leur densité peut varier d'un facteur 10, ce qui permet de nombreuses applications. Les rouleaux de matelas de fibre légère et les panneaux légers sont utilisés pour les isolations en toiture inclinée ou dans les parois verticales. Les panneaux denses servent d'isolation là où une résistance mécanique est nécessaire: dalles, toitures plates, etc.

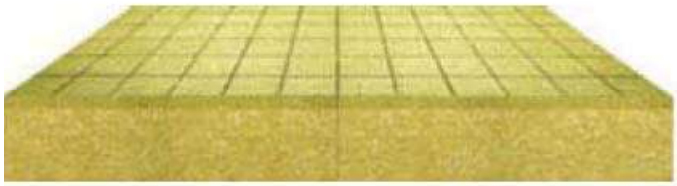


Figure. II.4 Matériaux fibreux inorganiques

b) Matériaux fibreux organiques

Les fibres organiques naturelles ne sont plus guère utilisées dans le bâtiment, mais gardent un marché marginal dans la construction éco-biologique. La laine, le coton, la cellulose (papier mâché), la paille, et autres fibres de plantes (dont le chanvre) peuvent être utilisés comme matériaux isolants. Des mesures doivent être prises pour que ces matériaux résistent au feu, à l'humidité et aux parasites.

c) Mousses inorganiques

La mousse de verre (FOAMGLAS, CORIGLAS) est obtenue en faisant cuire au four un mélange de fine poudre de verre avec un peu poudre de graphite, placé dans un moule rectangulaire. La surface supérieure du mélange fond en premier et empêche le gaz carbonique résultant de la combustion du carbone de s'échapper. Ce gaz reste alors occlus dans des bulles de verre et le mélange lève comme un cake. Ce matériau, relativement cher, est totalement étanche à l'eau et présente d'excellentes qualités mécaniques. Il est utilisé en toiture plate et pour l'isolation de fondations et de dalles soumises à de fortes charges.



Figure .II.5. Mousses inorganiques.

d) ***Mousses organiques***

Ce sont les mousses de matières plastiques telles que le polyuréthanne (PUR), le polystyrène (PE), l'urée formaldéhyde (UF), le PVC, le Polyéthylène, etc. Le PE et le PUR sont très employés dans le bâtiment. L'UF est utilisé exclusivement pour des injections in situ. Les autres mousses, plus chères, sont d'utilisation marginales, surtout industrielles. Le polystyrène peut être expansé puis découpé, pour faire des plaques d'isolant d'usage général, mais peu résistantes à l'eau (SAGEX, STYROFOAM, LUXIT, etc.). Il peut aussi être extrudé directement en plaques, qui possèdent alors une pellicule les rendant résistantes à l'eau (ROOFMATE, STYRODUR). Le polyuréthanne expansé possède une conductivité thermique apparente très basse, du moins lorsqu'il est jeune. Il a aussi une bonne résistance à la compression. Il est utilisé en toiture, sous des dalles, en isolation industrielle et en injections ou projections in situ. Il est sensible au rayonnement ultraviolet et ne doit pas être exposé aux intempéries.



Figure. II.6. Mousses organiques.

e) Matériaux ligneux

Les bois légers, la paille agglomérée, les panneaux de fibre de bois peuvent être utilisés comme isolants. Le plus courant est la paille agglomérée au ciment, utilisé directement en fond de coffrage. Ces panneaux (SCHICHTEX) adhèrent bien au béton et mortiers. Le liège est un isolant naturel qui a beaucoup été utilisé, notamment en panneaux de déchets agglomérés au bitume, pour les toitures plates. Son prix fait qu'il est actuellement remplacé par les matériaux synthétiques.

Il existe d'autre matériaux isolants moins présents sur le marché, tels que les isolants naturels comme la laine, la fibre de chanvre, la cellulose, etc.



Figure. II.7. Le liège.

f) Isolation mince réfléchissante

On trouve sur le marché des matelas isolants comportant des feuilles réfléchissantes. Leur fonction est de réfléchir le rayonnement infrarouge, et donc de supprimer la transmission de chaleur par rayonnement. Certains escrocs n'hésitent pas à attribuer des qualités isolantes miraculeuses à ces matériaux. Toutefois, les autres modes de transfert de chaleur demeurent, notamment la conduction dans l'air et les matériaux du matelas. Il s'ensuit que ces matelas, dans le meilleur des cas, n'ont un pouvoir isolant, à épaisseur égale, que légèrement supérieur aux matériaux isolants classiques. De plus, ces matelas nécessitent, pour être efficaces, une lame d'air de chaque côté ce qui fait qu'à encombrement égal il n'isolent pas mieux qu'un matériau classique de bonne qualité. Il n'en reste pas moins que ces matelas isolent très bien dans le vide, ce qui justifie leur emploi dans les applications spatiales, car la conduction dans l'air est alors supprimée.

g) Isolants exceptionnels

En y mettant les moyens, on peut diminuer fortement la conduction, supprimer la convection et réduire presque à zéro les échanges par rayonnement. On obtient ainsi des isolants thermiques exceptionnellement efficaces. L'isolation thermique dans l'espace est particulièrement facile à réaliser. En effet, le vide spatial interdit la convection et la conduction, et seul le rayonnement reste. Une feuille réfléchissante assure alors une isolation thermique presque parfaite. Chacun connaît le vase de Dewar, ou la bouteille "Thermos®", qui est formée en fait de deux bouteilles l'une dans l'autre, dont on soude les bords et entre lesquelles on fait le vide. La surface contre le vide est de plus métallisée. Ainsi, les échanges par convection, conduction et rayonnement entre les deux bouteilles sont fortement réduits. Il ne reste que la conduction au travers du col et du bouchon.

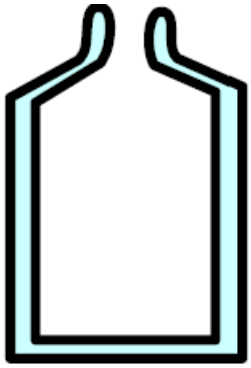


Figure. II.8. Isolants exceptionnels.

L'isolation sous vide consiste à évacuer l'air d'un support fibreux ou cellulaire emballé dans une feuille étanche. La conduction de l'air est ainsi supprimée (Figure 3.3), et le rayonnement Ne passe pas au travers de l'enchevêtrement des fibres ou des parois des cellules. Il ne reste Que la conduction des parois des cellules ou des fibres. Le support est indispensable pour éviter que l'emballage ne s'écrase sur lui-même sous l'effet de la pression atmosphérique (10 t/m²!). Un getter (absorbant physico-chimique) maintient le vide malgré le dégazage et la diffusion de gaz au travers de l'enveloppe. La conductivité thermique de tels matériaux est nettement plus basse q que celle des isolants traditionnels. Parmi ces isolants, le nanogel de silice présente des propriétés particulières. Il est en effet moins conducteur que l'air à pression normale. Cette caractéristique remarquable vient du fait que la dimension des pores est plus petite que la longueur du trajet que parcourent les molécules d'air entre deux chocs (le libre parcours moyen). De ce fait, les molécules d'air heurtent le plus souvent les parois de silice, beaucoup plus massives qu'elles, auxquelles elles ne peuvent pas transférer facilement leur énergie cinétique.

Les gaz lourds (argon, krypton, xénon, fréons, hexafluorure de soufre, etc.) conduisent moins bien la chaleur que les gaz légers (hydrogène, hélium, azote, oxygène). Cette propriété est utilisée dans les doubles ou triple vitrages pour améliorer leur pouvoir isolant. La mousse de polyuréthane (PUR) doit aussi on excellent pouvoir isolant initial (à sortie d'usine) au gaz utilisé pour l'expansion (fréon HCFC 41B, pentane). Toutefois, si l'isolant n'est pas emballé dans une feuille étanche, ce gaz diffuse progressivement au travers des parois des cellules.

II.3.4. Application des isolants thermiques [6]

Il n'y a pas de mauvais matériau isolant, il n'y a que de mauvaises applications. Le matériau isolant idéal dépend de son application

a) Parois homogènes

Certains matériaux présentent une conductivité thermique apparente relativement faible tout en ayant une résistance mécanique suffisante pour en faire des parois. Ce sont la brique alvéolée, la brique en terre cuite porosifiée, et le béton cellulaire. La conductivité thermique apparente de ces matériaux n'est toutefois pas aussi basse que celle des isolants spécifiques, et l'épaisseur des parois doit être suffisante (40 cm et plus) pour garantir une isolation conforme aux normes actuelles. Des bâtiments anciens ont été construits en parois homogènes de maçonnerie à la chaux, de torchis, voire de pierre de taille. Ces derniers matériaux n'assurent toutefois pas une isolation thermique suffisante selon les critères modernes. Le bois massif présente de bonnes qualités tant statiques que thermiques, et à été largement utilisé pour les chalets. Cette solution est toutefois trop coûteuse actuellement.

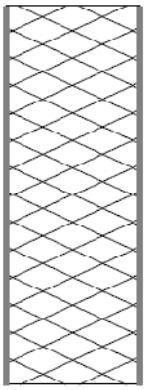


Figure. II.9. Parois homogènes ; Crépi extérieur perméable à la vapeur d'eau

.

b) Dalles toitures

L'isolant dans les dalles toitures plates classiques est placé entre une barrière à la diffusion de vapeur, elle même posée sur la dalle, et la couche d'étanchéité. L'isolant doit résister à la compression, et aux températures élevées qui peuvent survenir, soit à cause du soleil, soit lors de la pose de l'étanchéité bitumineuse. On a beaucoup utilisé le liège pour cette application. Maintenant, on utilise le polyuréthanne, la mousse de verre, les fibres minérales et le polystyrène, ces derniers à hautes densités.

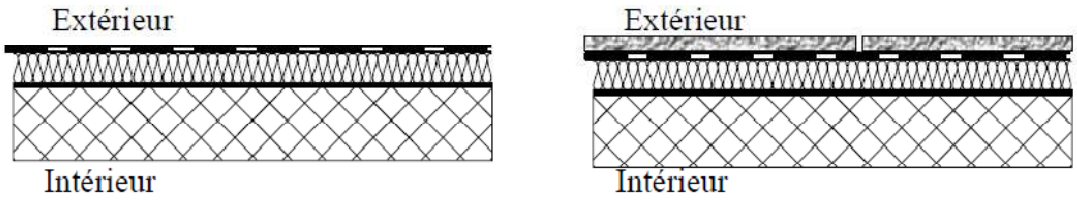


Figure. II.10. Dalles toiture plates classiques, à gauche sans protection, à droite avec protection de l'étanchéité.

c) Toiture inversées

Dans la toiture plate inversée, l'isolant est placé au dessus de l'étanchéité, elle-même directement posée sur la dalle. Cette dalle souvent recouverte d'une chape de pente. Des dalles de béton ou du gravier chargent les plaques d'isolant, les protégeant du soleil et les empêchant de s'envoler. Seul le polystyrène extrudé, ayant une pellicule étanche à l'eau sur ses deux faces, convient à cette application. Un feutre drainant est posé sous l'isolant, l'empêchant de se coller à l'étanchéité. Un autre feutre doit être placé sous le gravier, pour éviter que celui-ci ne se glisse entre les plaques.

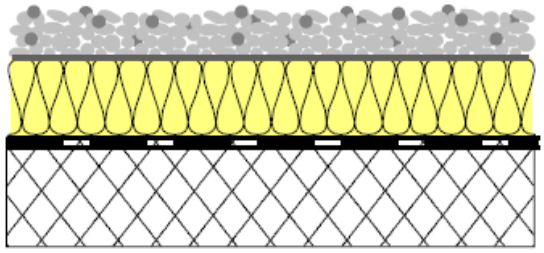


Figure. II.11. Toiture inversées.

d) Toitures et parois ventilées

L'isolant posé dans ces éléments de construction est bien protégé des intempéries par les tuiles et une sous-toiture, ou par un bardage. Les charges mécaniques de la toiture ou du bardage sont supportées par le lattage et le contre-lattage, ou par des supports ad hoc. Tout isolant convient donc, notamment les moins chers. On utilise souvent des fibres minérales légères en rouleaux, facile à poser entre les chevrons. Le polystyrène expansé à faible densité convient aussi. Pour ces parois, il faut particulièrement veiller à assurer l'étanchéité à l'air, en particulier dans les constructions en bois.

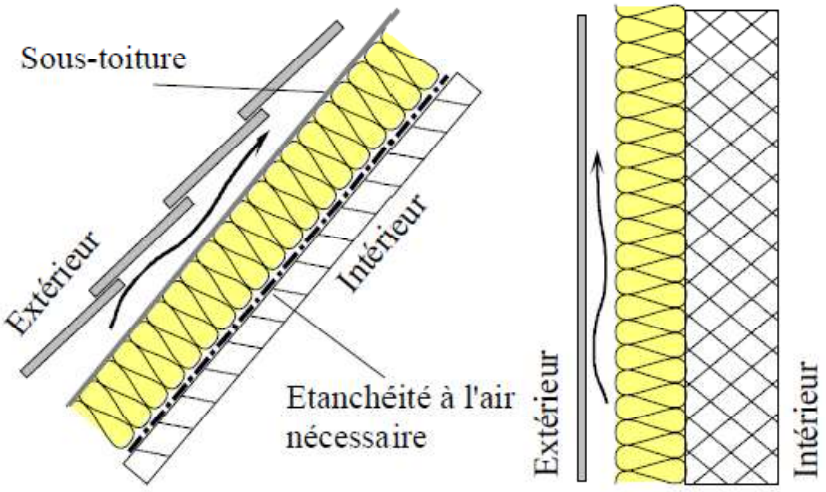


Figure. II.12. Toitures et parois ventilées.

e) Isolation entre deux parois

Dans ces éléments, l'isolant est bien protégé, et pratiquement n'importe quel isolant convient. Pour des raisons pratiques, on préfère des panneaux de moyenne densité. En principe, il est préférable de poser l'isolant à l'extérieur de la structure porteuse, car cette disposition évite de nombreux ponts thermiques, diminue les risques de condensation et augmente l'inertie thermique interne du bâtiment. L'ancienne méthode consistant à poser l'isolant à l'intérieur de la structure porteuse et à le protéger par un galandage (à gauche sur la figure suivante), ne se justifie plus avec les épaisseurs d'isolant posées actuellement. Certains matériaux se prêtent bien à l'injection après coup d'espace d'air inaccessible autrement. Ainsi, d'anciens murs doubles et des toitures comportant des espaces vides peuvent être isolés après coup en injectant, suivant les cas, des flocons de fibres minérales ou des mousses organiques (polyuréthanne, urée formaldéhyde). Il est important, pour assurer le succès de ces opérations, de les faire effectuer par des spécialistes ayant de l'expérience.

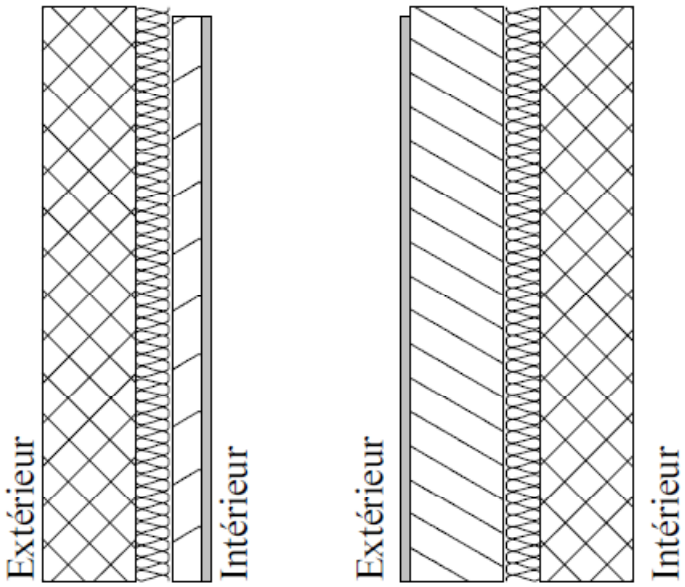


Figure. II.13. Isolation entre deux parois.

f) Dalles planchers

L'isolation posée sous un plancher ou une chape doit résister à la compression. On utilise le polystyrène expansé et les laines minérales relativement denses. Une couche de fibres minérales de faible épaisseur est souvent utilisée sous la chape pour amortir la propagation des bruits d'impacts.

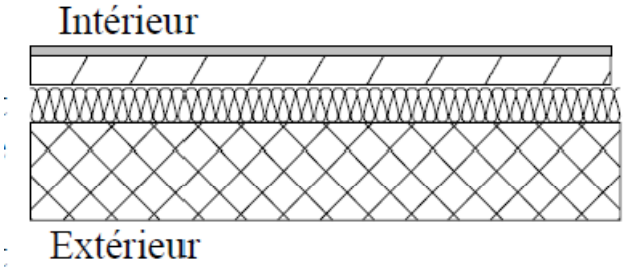


Figure. II.14. Dalle planché.

g) Éléments d'enveloppe légers

Des éléments de façade légers sont préfabriqués en collant des feuilles ou des plaques de revêtement sur les faces intérieure et extérieure d'un matériau isolant. Pour cette application, le matériau isolant doit être rigide, donc présenter une résistance mécanique suffisante à la traction et à la compression. On utilise essentiellement les mousses organiques telles que le polyuréthanne et le polystyrène expansés.

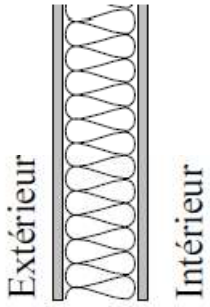


Figure. II.15. Éléments d'enveloppes légères.

h) Isolation extérieure compacte

L'isolation extérieure compacte ou crépie est constituée de plusieurs couches: le matériau isolant est collé sur la face extérieure de la façade, à l'aide d'un ciment-colle. Des clous de matière plastique sont parfois utilisés pour fixer l'isolant. L'isolant est ensuite enduit d'un crépi synthétique armé d'un treillis de fibre de verre pour le protéger des intempéries et lui donner son aspect final. Des systèmes d'isolation extérieure compacte existent pour tous les isolants principaux (fibres minérales, mousses organiques et inorganiques), mais les systèmes utilisant polystyrène expansé dominent actuellement. Il est essentiel, pour la durabilité du système, que toutes les couches, depuis le revêtement de façade jusqu'aux crépis finals soient posées par des spécialistes ayant de l'expérience dans le système. Tous les matériaux utilisés doivent faire partie du système proposé par le fabricant. Le bricolage dans ce domaine est pratiquement voué à l'échec. Ce mode de faire est relativement bon marché, mais certainement plus fragile et moins durable que l'isolation entre murs.

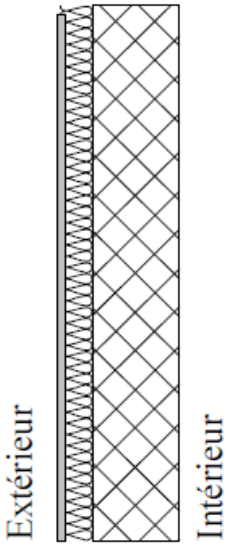


Figure. II.16. Isolation extérieure compacte.

i) Isolation transparente

En plaçant un isolant transparent ou un vitrage isolant devant une Paroi foncée, on convertit celle-ci en capteur solaire. Le rayonnement solaire traverse, du moins en partie, la couche d'isolant et se transforme en chaleur à la surface de la paroi. Cette chaleur pouvant difficilement ressortir au travers De la couche isolante pénètre dans le bâtiment au travers de la paroi. Dans ce cas, une paroi non ombragée, exposée entre le sud-est et le sud-ouest Présente un bilan positif pendant la saison de chauffage en climat tempéré. Le coût de cette technique est encore relativement élevé,

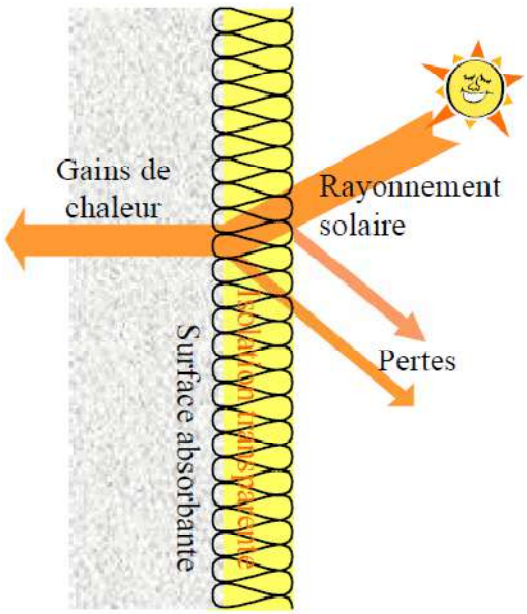


Figure. II.17. Isolation transparente.

j) Les doubles vitrages

Le premier type de vitrage isolant thermiquement fut le double vitrage. Il s'agit de deux feuilles déverses séparées par un espacer de manière à délimiter un espace d'air sec. La conductivité thermique de l'air valant 0,025 W/ (m K) (à 10°C) pour 1 (W/m K) au verre, la couche d'air augmente le pouvoir isolant et diminue la valeur ***K*** du vitrage.

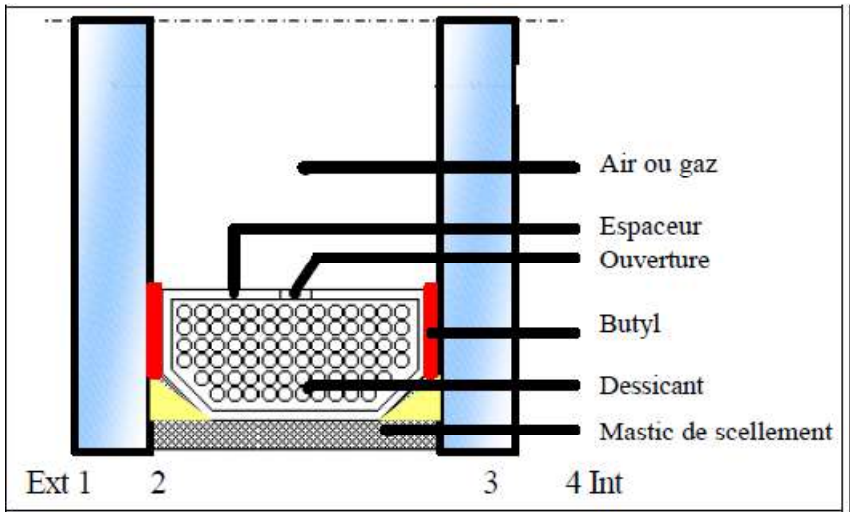


Figure. II.18. double vitrage.

k) les triples vitrages et ses dérivés

L'isolation étant augmentée par la présence de la lame d'air, l'étape suivante a été de fabriquer des triples vitrages, c'est-à-dire des vitrages formés de trois feuilles de verre séparant deux espaces d'air. Cette solution n'est plus que rarement utilisée car elle présente les inconvénients de proposer un vitrage d'épaisseur et de poids

l) Les doubles vitrages à haut rendement

Le développement des techniques de dépôt de couches sur les vitrages a permis de franchir un pas déterminant dans la qualité d'isolation thermique des vitrages. La pose d'une couche métallique sur le vitrage permet d'obtenir des vitrages dits à haut rendement (aussi appelés à basse émissivité, à isolation renforcée ou low E).

Il s'agit:

- en général de couches déposées sous vide; celles-ci qui doivent être assemblées à l'intérieur d'un double vitrage vu leur fragilité.
- de couches pyrolytiques, qui sont légèrement moins performantes que les couches sous vide.

Ces couches sont le plus souvent placées en position 3, la position 2 n'influence pas la qualité de l'isolation mais bien les propriétés de réflexion et donc l'aspect.

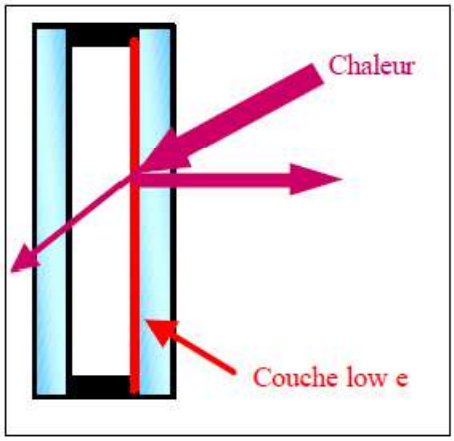


Figure. II.19. vitrage à base émissivité.

Pour rappel , l'émissivité est définie comme le rapport entre l'énergie émise par une surface donnée à une température donnée et celle d'un émetteur parfait (c'est-à-dire un corps noir qui a une émissivité égale à 1), à la même température.Le but de cette couche est de faire rayonner vers l'intérieur du bâtiment les rayons calorifiques (IR lointains) absorbés par le vitrage.En effet, les corps situés dans les locaux rayonnent la chaleur sous forme d'IR lointains. Le verre étant quasi opaque à ce type de rayonnement, il va s'échauffer.

Un verre clair (sans couche) va principalement réémettre cet échauffement vers l'extérieur, c'est à dire vers le côte le plus froid (en hiver). Il y a dès lors intérêt à utiliser un verre à couches dont l'émissivité a été diminuée, de manière à forcer la réémission vers l'intérieur du bâtiment (Figure. II.19.) Par exemple, une émissivité de 0,2 signifie que 80 % du flux de chaleur absorbé par le vitrage est réfléchi vers les locaux intérieurs

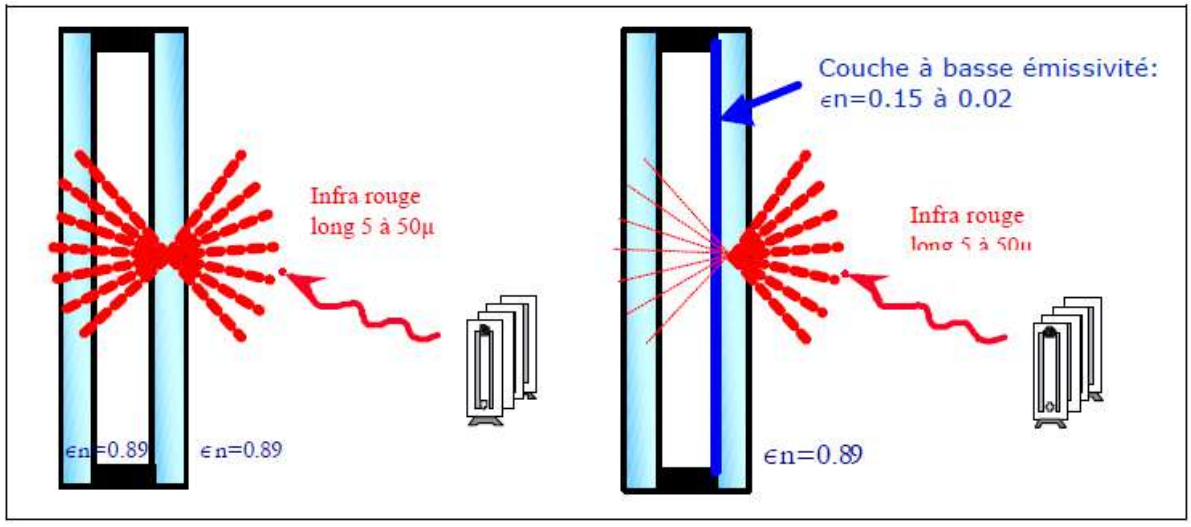


Figure. II.20. Double vitrage et double vitrage à haut rendement.

II.3.5.Choix du système d'isolation

Le choix du système d'isolation est complexe puisqu'il fait appel à plusieurs paramètres, En effet pour choisir l'emplacement le plus économique et le plus durable après la fonction d'isolation de base, il faut tenir compte:

• de la nature de l'isolant à utiliser;

• des paramètres du milieu dans lequel il est exposé;

• de la durée de vie du bâtiment ;

• du coût de l'installation; etc.

Après consultation du marché et pour la rentabilité de leurs résistances, notre choix définitif est l'isolant polystyrène extrude (parois opaque) et double vitrage (parois vitrées).

II.3.5.1.Le polystyrène [7]

L'éthylène et le benzène sont les matériaux de départ pour la production de la résine thermoplastique polystyrène qui s'est répandue au cours des années 30 et qui a eu un succès énorme, en raison de sa possibilité d'être travaillée par injection, extrusion et soufflage. Le secteur principal est celui de l'emballage. Mais aussi il est utilisé dans le bâtiment.

Le polystyrène est un matériau isolant bien connu et facilement identifiable par sa légèreté. Ses applications dans la construction sont multiples et ont pour objet le confort et la protection des personnes et des biens, qu'il s'agisse de l'isolation thermique ou thermo-acoustique des murs (panneaux et complexes de doublage), des sols (isolants sous chapes flottantes), des planchers (entrevous moulés ou découpés), des toitures ou encore des réservations et coffrages perdus. C'est un produit majeur dans l'isolation du bâtiment avec plus de 30 % du marché des isolants. Les variétés de polystyrène permettent de répondre aux réglementations tant thermiques qu'acoustiques avec un rapport qualité-erformance- prix sans équivalent. Grâce à ses qualités notamment, acoustiques, hydrophobe, mécanique, thermique.
Le polystyrène répond parfaitement à tous les objectifs de l'isolation:

- Améliorer le confort des occupants notamment par l'élimination du phénomène des parois froides et par l'élimination des bruits provenant tant de l'intérieur que de l'extérieur.
- Limiter la facture énergétique en réduisant très significativement les déperditions calorifiques par les parois.
- Protéger les murs en éliminant l'humidité due à la condensation sur les parois froides.
- Favoriser ainsi une plus grande pérennité des constructions.

- Le polystyrène est un isolant stable dans le temps ; toutes ses propriétés sont conservées de sa mise en œuvre à la démolition ou déconstruction des bâtiments.

Les performances des solutions et des systèmes constructifs à base de polystyrène ont très fortement évolué au cours des dernières années. Ainsi, à épaisseur égale, suivent la structure on distingue:

a) Le polystyrène expansé

La mousse de polystyrène expansé est obtenue à partir d'hydrocarbures (styrène) expansés à la vapeur d'eau et pentane afi n de présenter une structure à pores ouverts. Le polystyrène expansé est constitué au fi nal de 2 % de matière et de 98 % d'air. Il est insensible à l'eau et imputrescible, il garde donc ses propriétés d'isolation thermique, acoustique et mécanique dans le temps. En revanche, il est très fermé à la diffusion de vapeur d'eau, attention donc à son utilisation en rénovation et dans les constructions bois.

b) Le polystyrène extrudé

Issu d'un procédé similaire au polystyrène expansé, le polystyrène extrudé est soumis en outre à un agent gonflant sous pression qui lui assure une structure à pores fermés et une meilleure résistance à la vapeur d'eau et à la compression permettant une isolation en milieu humide (sous dalle). Ce produit dispose d'une résistance exceptionnelle et inégalée par rapport aux autres isolants à l'eau, au froid, à la chaleur et à la compression, ce qui lui permet d'être utilisé là où aucun autre isolant ne pourrait résister aux contraintes. Attention toutefois à l'écobilan et à son étanchéité presque totale à la diffusion de vapeur d'eau [6].

Remarque

Dans ce travail, on opte pour l'isolation en polystyrène extrudé car il est possède une bonne résistance à la diffusivité de la vapeur d'eau.

II.3.5.2. Description de l'isolant choisit

a) La fabrication

Elle est effectuée à partir de billes de monomère styrène mélangées et extrudées avec un agent gonflant : CO2 pour les performances thermiques courantes (0.035W/(m.K)) ou des gaz HFC pour des performances thermiques supérieures (0.028W/(m.K)). Ces isolants ont une peau de surface étanche à l'air et sont à cellules fermées.

Outre les usages classiques en bâtiment, les polystyrènes extrudés sont particulièrement appropriés pour les applications qui nécessitent une très forte résistance mécanique aux charges ou pour les applications qui nécessitent un comportement à l'eau à long terme (dallages industriels, terrasses circulables, murs, toitures inversées…).

b) Caractéristiques techniques

- Densité : 20 à 30 kg/m3.
- Conductivité thermique λ: 0.028 W/m.°C
- Capacité thermique très faible
- Classement au feu: moyenne
- Résistance à la vapeur d'eau μ : infini
- Insensible à l'humidité.

La figure (II.21) donne la variation du coefficient de transmission de chaleur (K) ainsi que la résistance thermique (R) en fonction de l'épaisseur d'isolation (e) pour le polystyrène extrudé

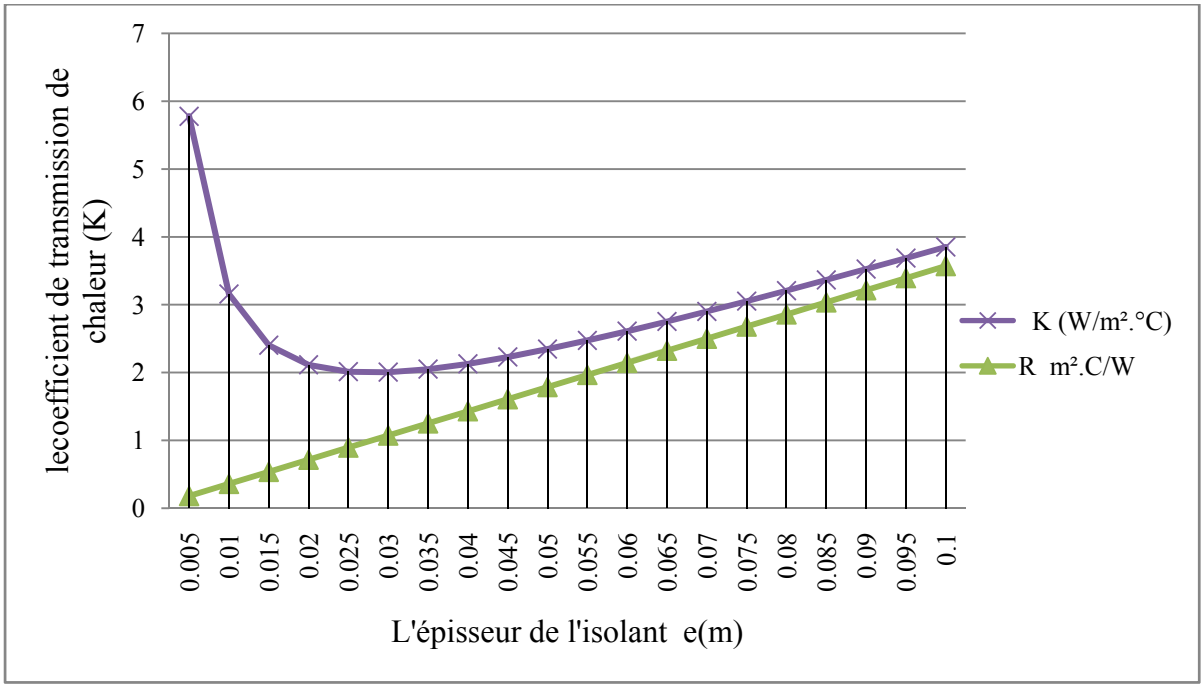


Figure. II.21. Variation du coefficient de transmission de chaleur (K) et la résistance thermique en fonction de l'épaisseur (e) de polystyrène extrudé.

c) Les avantages

- Très faible conductivité.
- Mise en œuvre en milieux fermés et humide.
- Incompressible.
- Totalement imperméable
- Ressource non-renouvelable.
- Coût.
- Divers applications dont des éléments de structures isolants (hourdis, coffrages, murs).

II.3.5.3.L'isolation à travers les parois vitrées

On choisir le double vitrage comme un choix définitif ; avec les caractéristiques suivantes côtes intérieur glace claire avec une l'aime d'air de 6 cm d'épaisseur et glace fonce cote extérieur ce coefficient d'échange (K= 3,1W/m²°C) et le facteur solaire du vitrage (0,59).

II.3.5.4.Conclusion

Apres consultation de notre marché d'isolation (le cout et la disponibilité) et les caractéristique technique (Conductivité, Capacité thermique, Résistance à la vapeur d'eau) on peut adopte le polystyrène comme isolant dans les construction neuf.

III.1.Introduction

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final. L'évaluation des charges thermiques des bâtiments à climatiser est un exercice complexe qui prend habituellement beaucoup de temps et représente l'une des étapes les plus importantes dans la conception et le dimensionnement d'un système de climatisation.

III.2.Définitions [8]

a) Champ de la température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : T = f (x, y, z, t). La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire.

b) Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures.

La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur (W) :

$$\Phi = \frac{1}{S}\frac{dQ}{dt} \qquad (III.1)$$

Avec :

S : La surface (m²).

On appelle le flux de chaleur la quantité de la chaleur transmise sur la surface S par unité de temps :

$$= \frac{dQ}{dt} \qquad (III.2)$$

c) Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

Φ_{st}: flux de chaleur stocké.

Φ_g : flux de chaleur généré.

Φ_s: flux de chaleur sortant**.**

Φ_e : flux de chaleur entrant.

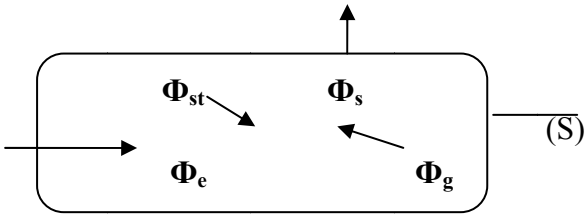


Figure.III.1 .Bilan énergétique d'un système.

On applique le1^{er} principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\Phi e + \Phi g = \Phi s + \Phi st \qquad (III.3)$$

III.3. Les modes de transfert thermique

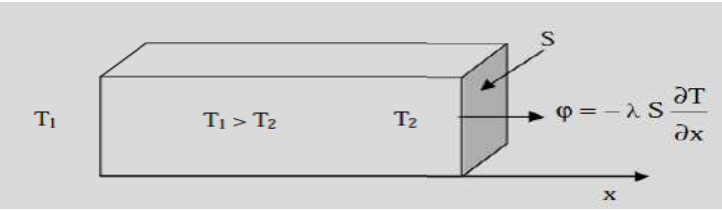
Il existe trois modes de transfert de chaleur qui sont :

a) La Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de la matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température

$$\Phi = -\lambda S \overrightarrow{grad}\ (T) \qquad (III.4)$$



Fuguer.III.2. Transfert de chaleur par conduction.

Ou sous la forme algébrique :

$$\Phi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \qquad (III.5)$$

Avec :

Φ: Flux de chaleur transmis par conduction (W).

λ : Conductivité thermique du milieu (W m^{-1} °C^{-1}).

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

b) La Convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est donné par la loi de Newton :

$$\Phi = h S (Tp - T\infty) \qquad (III.6)$$

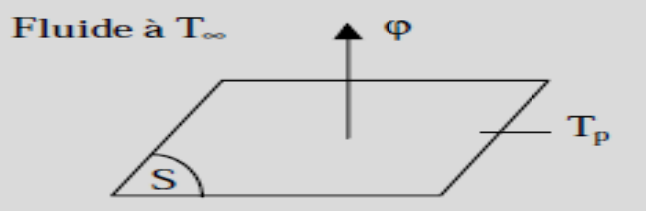


Figure.III.3. Transfert de chaleur par convecticti**o**n.

Avec :

Φ : Le flux de chaleur transmis par convection (W).

h : Le coefficient de transfert de chaleur par convection (W m^{-2} °C^{-1}).

Tp : La Température de surface du solide (°C).

T∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C).

S : la surface de contact solide / fluide (m^2).

Remarque

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection (h) est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

c) Le Rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la loi de Stefan Boltzmann :

$$\Phi = \sigma \times \varepsilon p \times s \left(T_p^4 - T_\infty^4\right) \qquad (III.7)$$

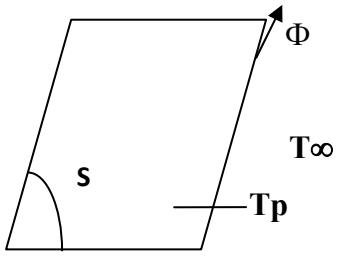


Figure III.4. Transfert de chaleur par rayonnement.

Avec :

Φ: Flux de chaleur transmis par rayonnement (W).

σ : Constante de Stefan Boltzmann ($5.67.10^{-8} wm^{-2}.k^{-4}$).

ε_p : Facteur d'émission de la surface (sans dimension).

Tp : Température de la surface (K).

T∞ : Température du milieu environnant loin de la surface (K).

S : la surface (m^2).

III.4.Le flux de chaleur lié à un débit massique

Lorsqu'un débit massique m de matière entre dans le système à la température T_1 et en ressort à la Température T_2, on doit considérer dans le bilan (1.5) un flux de chaleur entrant correspondant:

$$\Phi = \dot{m}\, Cp\, (T_1 - T_2) \qquad (III.8)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur entrant dans le système (W).

ṁ : Débit massique ($kg.s^{-1}$).

C_p : Chaleur spécifique de fluide ($J.kg^{-1}.K^{-1}$).

T1, T2 : Températures d'entrée et de sortie (K).

Remarque

Le transfert thermique dans le secteur du bâtiment se base sur le transfert thermique unidirectionnel en régime permanent. Puisque l'épaisseur du mur est faible par rapport à la longueur.

III.5.Transfert thermique unidirectionnel [8]

a) Mur simple

On se placera dans le cas où le transfert de chaleur est unidirectionnel et où il n'y a pas de génération ni de Stockage d'énergie. On considère un mur d'épaisseur e, de conductivité thermique λ et de grandes dimensions transversales dont les faces extrêmes sont à températures T_1 et T_2 :

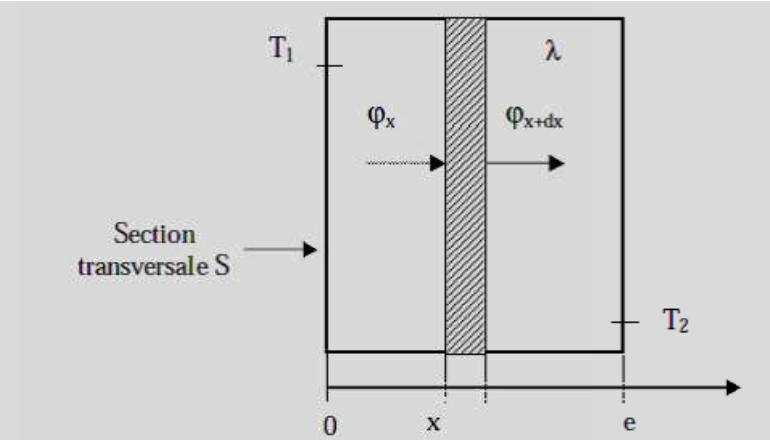


Figure III.5. Bilan thermique élémentaire. .sur un mur simple

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure suivante :

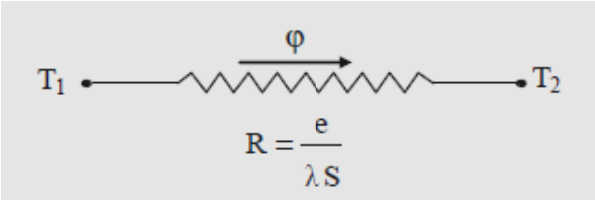


Figure. III.6. Schéma électrique équivalent d'un mur simple.

Le profil de température est donc linéaire de forme:

$$T = T1 - \frac{x}{e}(T1 - T2) \qquad \text{(III. 9)}$$

Et la densité de flux de chaleur traversant le mur s'en déduit:

$$\Phi = \frac{(T1-T2)}{\frac{e}{\lambda S}} \qquad \text{(III. 10)}$$

b) Mur multicouches

C'est le cas des murs réels constitués de plusieurs couches de matériaux différents et où on ne connaît que les températures T_{f1} et T_{f2} des fluides en contact avec les deux faces du mur de surface latérale S.

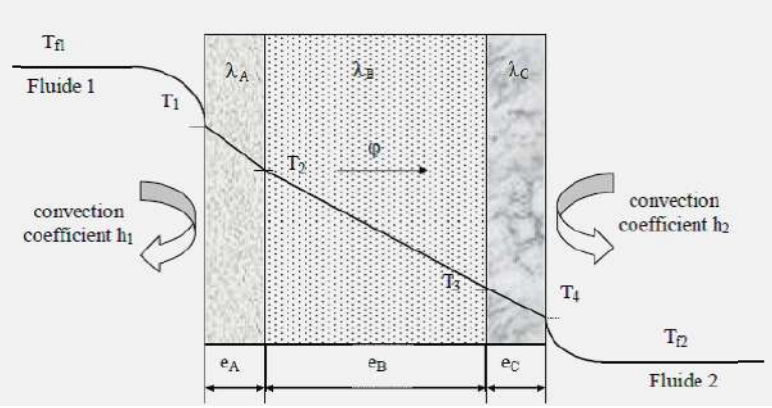


Figure. III.7. Mur multicouches.

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure suivante :

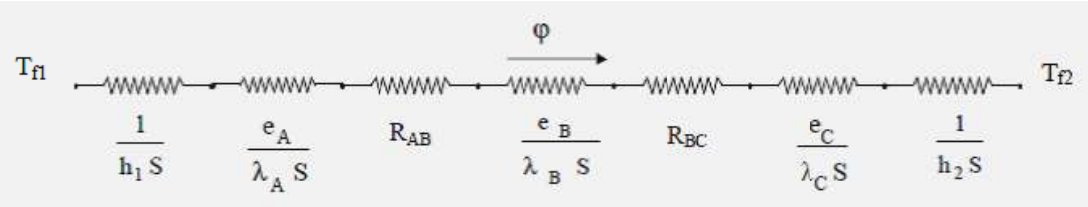


Figure III.8. Schéma électrique équivalent d'un mur multicouche.

En régime permanent, le flux de chaleur se conserve lors de la traversée du mur et s'écrit :

$$\varphi = \frac{Tf1 - Tf2}{\frac{1}{h_1 S} + \frac{e_A}{\lambda_A S} + R_{AB} + \frac{e_{AB}}{\lambda_B S} + R_{BC} + \frac{e_C}{\lambda_C S} + \frac{1}{h_2 S}} \qquad (III.11)$$

c) Mur composite

C'est le cas le plus couramment rencontré dans la réalité où les parois ne sont pas homogènes. Considérons à titre d'exemple un mur de largeur L constitué d'agglomérés creux En supposant le transfert unidirectionnel et en tenant compte des axes de symétrie, on peut se ramener au calcul du flux à travers l'élément isolé sur la droite de la figure et calculer la résistance thermique R équivalente d'une portion de mur de largeur L et de hauteur

$$\ell = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 \qquad (III.12)$$

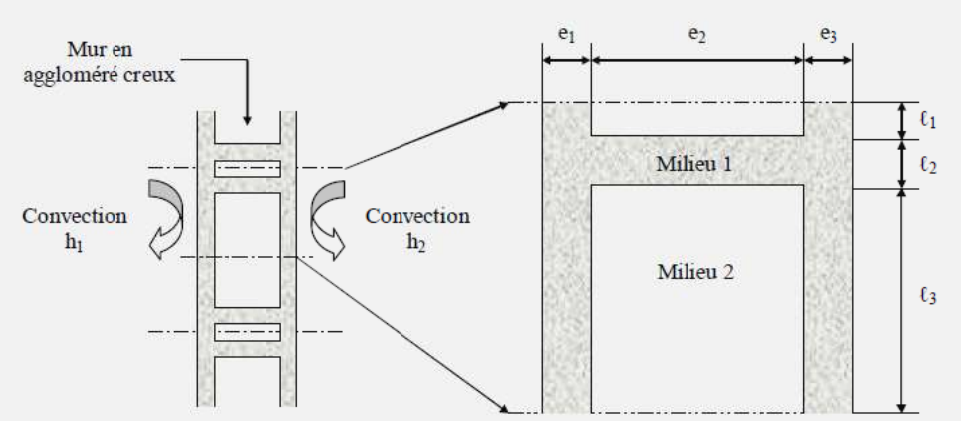


Figure III.9. Schématisation d'un mur composite.

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure suivante :

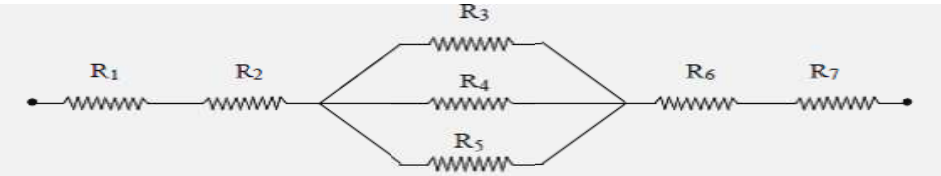


Figure. III.10. Schéma électrique équivalent d'un mur composite.

En utilisant les lois d'association des résistances en série et en parallèle on obtient :

$$R = R_1 + R_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} + R_6 + R_7 \qquad (III.13)$$

Avec :

$$R_1 = \frac{1}{h_1 \ell L}; R_2 = \frac{e_1}{\lambda_1 \ell L}; R_3 = \frac{e_2}{\lambda_2 \ell_1 L};\ R_4 = \frac{e_2}{\lambda_1 \ell_2 L}; R_5 = \frac{e_2}{\lambda_2 \ell_3 L};\ R_6 = \frac{e_3}{\lambda_1 \ell L};$$

$$R_7 = \frac{1}{h_2 \ell L} \qquad (III.14)$$

III.6.Echange thermique dans le bâtiment

Si l'on désire optimiser le confort tout en minimisant la consommation d'énergie, il est nécessaire de comprendre où passent les flux de chaleur et de connaître leur importance. Or, il est difficile et onéreux de mesurer tous les flux de chaleur traversant un bâtiment, et cette mesure est impossible sur un bâtiment en projet. C'est pourquoi le calcul du bilan énergétique du bâtiment est d'une grande utilité.

Étant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie finit par en sortir. Le bâtiment peut être comparé à un tonneau des Danaïdes dans lequel on maintient un niveau d'eau en le remplissant continuellement. Le niveau correspond au confort demandé et le débit d'eau aux flux d'énergie. Une partie de l'énergie est perdue, parce que versée à côté du tonneau.

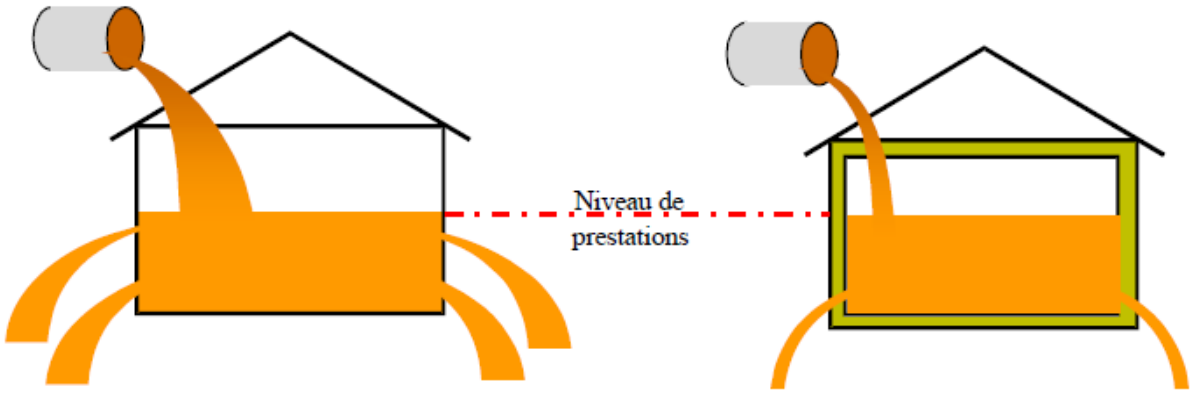


Figure.III.11. A gauche, bâtiment mal isolé, à droite, bâtiment correct.

III.6.1.Bilan énergétique

Le bilan énergétique 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 bâtiment reçoit de l'énergie sous différentes formes:

- Le chauffage (différent combustible: mazout, gaz, charbon, bois,…) ;
- L'électricité ;
- Le rayonnement solaire et le rayonnement thermique de l'extérieur ;
- La chaleur de l'air externe ;
- la chaleur métabolique des habitants, éventuellement de la chaleur d'une centrale de chauffage, etc.

III.6.2.Les besoins brut du bâtiment

Le besoin est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donnée, un climat intérieur convenable et satisfaire les autres prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, etc.).

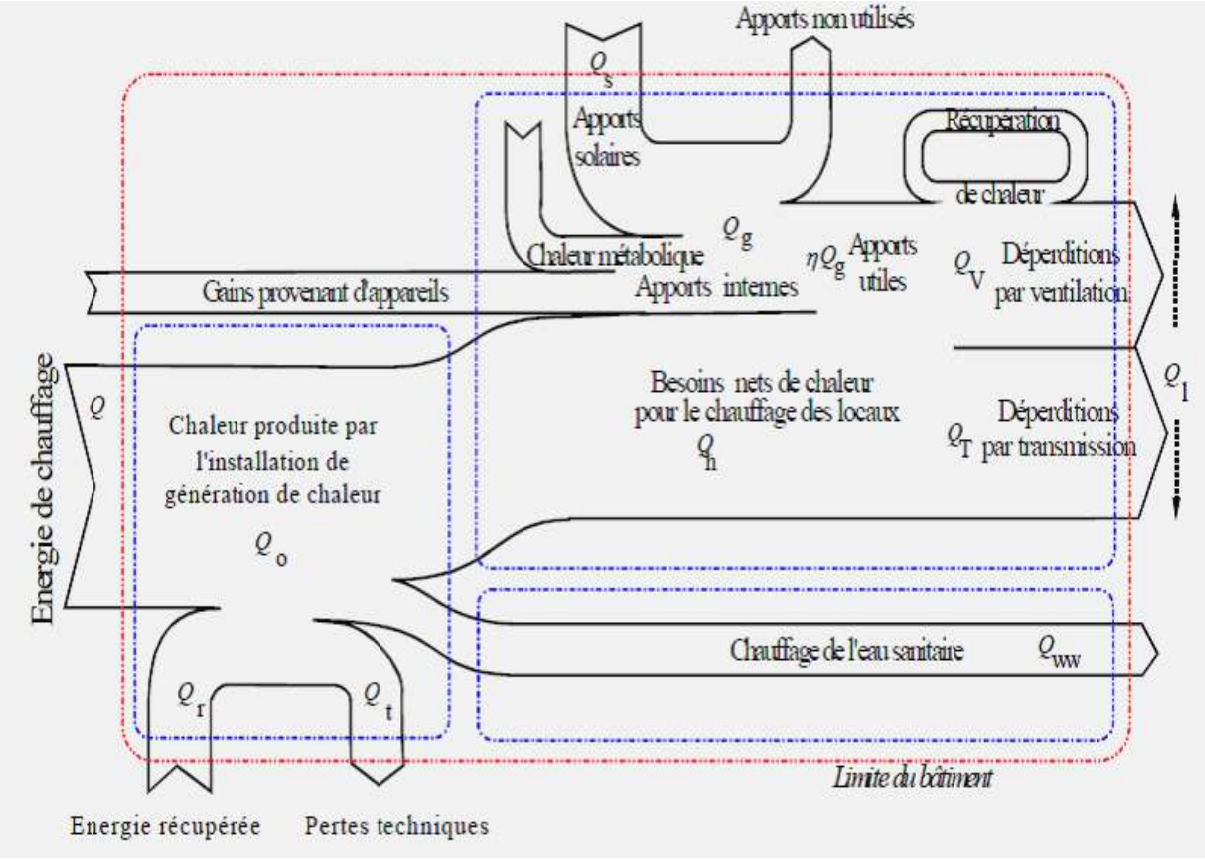


Figure.III.12. les flux de chaleur à travers un bâtiment.

Ces besoins bruts peuvent être satisfaits en partie par des sources d'énergie "gratuite" telles que rayonnement solaire et chaleur de l'environnement, le complément étant le besoin net. Ce besoin net est couvert par une transformation d'énergie finale, impliquant des pertes. Cette énergie finale provient elle même d'énergie primaire transformée, impliquant d'autres pertes.

III.6.2.1.les déperditions

Les déperditions totales d'un bâtiment à une seule zone, donc à température intérieure constante et uniforme pour une période donnée peuvent s'exprimer en fonction de la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur:

a) Déperditions par transmission

Le phénomène de transfert thermique par transmission à travers une enveloppe de bâtiment résulte de la différence de température entre deux milieux séparés par des parois opaques ou vitrés.

b) Déperditions à travers les espaces non chauffés

Du fait que le volume non chauffé est à une température différente de celle de l'extérieur.

c) Déperditions par le sol

Les déperditions au travers du sol sont a priori complexes. Elles varient avec la saison, mais ne sont pas directement liées à la température extérieure. En effet, la propagation de la chaleur au travers des grandes épaisseurs de terrain est lente, et l'effet de la température extérieure présente un retard certain sur sa cause. De plus, la géométrie du flux de chaleur est tridimensionnelle. Toutefois, ces déperditions sont généralement faibles par rapport à celles du reste du bâtiment, et une méthode approximative fournit souvent un résultat suffisant.

d) Déperditions par ventilation

L'aération des bâtiments entraîne une dépense d'énergie pour:

- Chauffer, refroidir et conditionner l'air intérieur afin d'amener sa température et son taux d'humidité à des valeurs confortables
- déplacer l'air frais et l'air vicié.

La dépense d'énergie pour le conditionnement de l'air ne s'effectue de toute façon, que le bâtiment soit muni ou non d'une installation de ventilation ou de climatisation. La quantité d'énergie nécessaire pour mouvoir l'air dans les installations de ventilation n'est pas négligeable. Dans les bâtiments climatisés, il n'est pas rare que cette énergie représente 20 à 30% de l'énergie nécessaire à la climatisation. L'installation de climatisation est aussi souvent un des gros consommateurs d'électricité dans les bâtiments.

e) Déperditions à travers les ponts thermiques

Un pont thermique est une zone localisée de faible résistance thermique où la chaleur peut s'échapper facilement. Dans un bâtiment ancien, les ponts thermiques représentent couramment 20 % des déperditions totales. Cependant, avec l'augmentation des épaisseurs d'isolant (et dans le cas des isolations par l'intérieur), leur influence en pourcentage, ne cesse de décroître. Les plus connus, les ponts thermiques linéaires (en W/ (m.K)) qui caractérisent les déperditions à la jonction de deux parois (2D), par exemple entre un plancher bas et un mur extérieur ; les ponts thermiques dits "ponctuels" (en W/K) qui caractérisent les déperditions à la jonction de trois parois (3D), par exemple, un angle bas de mur.

III.6.2.2.Les charges thermique à travers un bâtiment (apports thermiques)

Un local à climatiser est le siège d'échanges thermiques qui se répartissent en trois types d'apports :

- Les charges externes.
- Les charges internes.
- Les apports d'air neuf.

a) Charges externes

Les charges externes représentent tous les échanges thermiques avec le milieu extérieur : au niveau des parois, portes et vitrages, à travers les surfaces vitrées et par l'intermédiaire des ouvertures La nature et l'épaisseur des matériaux jouent un rôle primordial dans cet échange et l'isolation thermique est généralement indispensable.

b) Charges à travers les surfaces vitrées

Le rayonnement solaire crée un flux calorifique qui pénètre en partie à l'intérieur du local. Son intensité dépend de :

La latitude géographique, la valeur du rayonnement solaire, la hauteur du soleil, l'heure du jour, l'orientation du local, le coefficient de transparence de l'atmosphère, la nature du vitrage simple ou double, avec lame d'air, réfléchissant. La nature des protections : stores internes ou externes, rideaux,...

c) Charges par l'intermédiaire des ouvertures (portes, fenêtres...)

Elles sont dues à des infiltrations d'air incontrôlées dont les conditions climatiques (température, humidité) sont différentes de celles de l'ambiance interne. La qualité des huisseries et l'étanchéité générale du bâtiment sont par conséquent essentielles.

Note : Dans le cas d'un apport systématique d'air hygiénique, la création d'une légère surpression permet de contrôler en partie les infiltrations d'air.

d) Charges internes

Les charges internes proviennent de tous les éléments situés à l'intérieur d'un local et susceptible de modifier son équilibre thermique. Les sources de charges internes sont diverses et essentiellement liées à l'utilisation du bâtiment et à ses équipements, sans oublier l'activité humaine :

- L'éclairage (lampes, spots...),
- L'appareillage électrique (séchoirs à cheveux, moteurs, machines...),
- Les équipements thermiques (brûleurs, producteurs de vapeur...),
- Les occupants du local (activités diverses).

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les différents type de transfert de chaleur, et comment il intervient des parois d'un bâtiment, qui selon les variations pour affecter le confort du local.

IV.1.Introduction

Tout projet en thermique débute par le calcul des apports et/ou des déperditions. En été, les bilans thermiques sont presque toujours positifs, l'équipement à installer devra combattre ces apports positifs afin de garantir des conditions d'ambiance confortables. En hiver, les bilans thermiques sont le plus souvent négatifs, l'équipement à installer devra compenser les pertes thermiques afin de garantir des conditions d'ambiance confortables.

Beaucoup d'équipements sont conçus pour combattre les apports d'été et les déperditions d'hiver. Citons par exemple les pompes à chaleur réversibles, les centrales de traitement d'air équipées de batterie à eau glacée et de batterie à eau chaude, etc. Le chiffrage des apports ou des déperditions peut être effectué par calcul à partir des méthodes simples ou complexes, la tendance actuelle est à l'utilisation de plus en plus fréquente de logiciels spécifiques. Il est néanmoins tout à fait utile de pouvoir maîtriser les bilans thermiques par le calcul afin d'avoir des repères personnels quant aux valeurs moyennes

Le bilan thermique permet de distinguer en apports, les déperditions thermiques pour un local, il a une influence directe sur le dimensionnement des réseaux (la consommation énergétique) d'apport et d'évacuation de l'air, il est donc nécessaire de connaître avec précision les facteurs qui auront une influence sur lui avant de l'établir.

On distingue donc trois facteurs :

- **Facteur géométrique** : qui sont les dimensions du local (surface, volume).
- **Facteur géographique** : tel que (la latitude, l'orientation du local et l'altitude).
- **Facteur thermique :**

Dû aux occupants : leur nombre, leur activité et durée de l'occupation.
Eclairage : puissance et type d'éclairage (naturelle ou artificielle).
Machine électrique (ordinateurs, refroidisseur d'eau …etc.)
Matériaux de construction (sans ou avec isolation thermique).

IV.2.calcul des déperditions [9]

On distingue trois types des déperditions :

- Les déperditions par transmission à travers l'enveloppe de l'immeuble (mur, portes, toit, fenêtres,…).
- Les déperditions par renouvellement d'air (fuite d'air).

- Les déperditions à travers les liaisons ou les ponts thermique.

IV.2.1.calcul des déperditions de base par transmission [1]

Pour le calcul de ces déperditions nous avons la formule suivante :

$$D_T = D_S + D_{li} + D_{sol} + D_{lnc} \quad (IV.1)$$

Avec :

D_T: Déperditions par transmission.

D_S : Déperditions surfacique à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur.

D_{li} : Déperditions à travers les liaisons.

D_{sol}: Déperditions à travers les parois en contact avec le sol.

D_{lnc} : Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffées.

a) Les déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi séparant deux ambiances différentes sont donnés par la formule suivant :

$$D_S = K \times S \times \Delta T \quad (IV.2)$$

Avec

K : coefficient de transmission surfacique.

S : La surface.

ΔT: Écart de température entre deux parois séparant deux ambiances différentes

b) Les déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol

Pour notre cas (l'immeuble étudié) on a le plancher bas et le mur enterré. Les déperditions D_{sol} pour un plancher bas enterré sont données par la formule suivante :

$$D_{sol} = K \times S \times \Delta T \quad (IV.3)$$

c) Les déperditions à Travers les parois en contact avec des locaux non chauffés

Les déperditions à travers les parois en contact avec un local non chauffé (D_{lnc}) données par :

$$D_{lnc} = T_{au} \times [\sum(K \times S \times \Delta T) + \sum(K \times L \times \Delta T)] \quad (IV.4)$$

On constate que ces déperditions (D_{lnc}) sont pondérés par un coefficient Tau, dit (coefficient de réduction de température) la valeur de T_{au} est comprise entre [0 ; 1], ce dernier est donné par la formule suivant [1].

$$T_{au} = \frac{T_i - T_n}{T_i - T_e} = \frac{d_e}{d_e + a_c} \quad (IV.5)$$

Avec :

T_i : Température intérieur (°C).

T_n: Température de l'espace non chauffe (°C).

T_e : Température extérieur (°C).

a_c: Apports de chaleur des divers locaux chauffés vers le local non chauffé (W. °C $^{-1}$).

d_e : Déperditions du local non chauffé vers l'extérieur (W, °C).

IV.2.2. Les déperditions à travers les ponts thermiques [1]

Les déperditions à traves les liaisons, ou aussi appelés déperditions à travers les ponts thermiques, qui sont donnés par la formule suivante :

$$D_{li} = K \times S \times \Delta T \quad (IV.6)$$

Pour simplifier notre travail, selon le DTR en a les déperditions à travers les ponts thermiques pour tout l'immeuble qui peuvent être évaluées à 20% des apports surfaciques par transmission soit par la formule suivante :

$$\sum(K \times S \times \Delta T) = 0.2 \times \sum(K \times S \times \Delta T) \quad (IV.7)$$

Remarque

Dans notre projet on considère que les températures des locaux non chauffée sont égales à la température extérieure de base.

IV.2.3. Les déperditions par renouvellement d'air [1]

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

- Des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation on associe à ces déperditions de débit spécifique de ventilation.
- Des déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet du vent.
- Des déperditions par renouvellement d'air de l'immeuble ont pour expression.

$$D_r = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \times \Delta T \quad (IV.8)$$

Avec :

0.34 : Chaleur volumique de l'air (Wh/m^3. °C).

Q_V : Débit spécifique de ventilation (m^3/h).

Q_s : Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent (m^3/h).

Comme on peut aussi les écrire sous la forme suivante :

$$D_{Rv} = 0.34 \times Q_V \times \Delta T \quad (IV.9)$$

$$D_{Rs} = 0.34 \times Q_s \times \Delta T \quad (IV.10)$$

$$Q_V = 0.6 \times V_n \quad (IV.11)$$

$$Qs = P_P \times l_v \quad (IV.12)$$

$$P_P = P_0 \times S \quad (IV.13)$$

Avec:

D_{Rv} : Déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation (W).

D_{Rs} : Déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet de vent (W).

V_n: Volume habitable (m^3).

P_P : Perméabilité à l'air de la paroi ((m^3/h).

l_v : Coefficient d'exposition au vent affecté a la paroi.

P_0 : Perméabilité surfacique a l'air de l'ouvrant (m/h).

S : surface de l'ouvrant (m^2).

Avec :

M.D.C : mur double cloison.

M.S.C : mur simple cloison.

M.D.V : double vitrage.

M.D.V : Mure double vitrage.

B.A : béton armés.

S.V : simple vitrage.

Après avoir calculé les déférentes déperditions de l'immeuble, les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	16,29	--	1,30	19	402,51
Mur 02	M.S.C	18,29	--	2,3	00	00
Mur 03	M.S.C	12,53	--	2,3	00	00
Mur 04	M.D.C	13,87	--	1,30	19	342,73
Dalle	plancher	21,84	--	2.037	19	845,27
Sol	plancher	21,84	--	1	19	414,96
Poteau	B.A	1,164	--	2 ,90	19	64,41
Fenêtres	S.V	6,3	--	5	19	598,5
Porte 1	Bois	0,98	--	2	00	00
Porte 2	Bois	3,76	--	2	00	00
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T(w)						2668,11
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w). (III.4)						533,62
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R(w). (III.10)						778,985
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						3980,72

Tableau IV.1 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 01.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	9,12	--	1,30	19	225,26
Mur 02	M.S.C	13,9892	--	2,3	00	00
Mur 03	M.S.C	16,296	--	2,3	00	00
Mur 04	M.S.C	14,64	--	2,3	00	00
Dalle	plancher	15,60	--	2.037	19	603,76
Sol	plancher	15,60	--	1	19	296,40
Poteau	B.A	1,55	--	2,90	19	85,51
Fenêtres	S.V	2,52	--	5	19	239,4
Porte 1	Bois	0,98	--	2	00	00
Porte 2	Bois	0,98	--	2	00	00
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T(w)						1454,27
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w) (III.4)						290,85
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R(w) (III.10)						511,85
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						2256,97

Tableau IV.2 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 02.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	14,74	--	1,30	19	364,27
Mur 02	MD.C	9,466	--	1,30	19	233,81
Mur 03	M.S.C	15,90	--	2,3	00	00
Mur 04	M.D.C	11,83	--	1,30	03	46,15
Dalle	plancher	17,94	--	2.037	19	694,33
Sol	plancher	17,94	--	1	19	340,86
Poteau 1	B.A	0,77	--	2,90	19	42,42
Poteau 2	B.A	1,55	--	2,90	03	13,50
Fenêtres 1	S.V	5,04	--	5	19	478,80
Fenêtres 2	S.V	3,92	--	5	19	372,4
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T [w]						2592,77
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						518,55
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						642,35
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						3753,68

Tableau IV.3 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 03.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	15,13	--	2,30	00	00
Mur 02	M.D.C	10,24	--	1,30	19	252,97
Mur 03	M.S.C	15,13	--	2,3	00	00
Mur 04	M.D.C	13,83	--	1,30	03	95,45
Dalle	plancher	15,79	--	2.037	19	611,31
Sol	plancher	15,79	--	1	19	300,10
Poteau 1	B.A	1,55	--	2,9	19	85,40
Fenêtres 1	S.V	5,04	--	5	19	478,80
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						1723,64
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						344,72
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						483,80
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						2552,18

Tableau IV.4 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 04.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	15,13	--	2,30	00	00
Mur 02	M.D.C	10,48	--	1,30	19	286,52
Mur 03	M.S.C	21,34	--	2,30	00	00
Mur 04	M.S.C	18,04	--	2,30	03	94,12
Dalle	plancher	22,26	--	2.037	19	915,32
Sol	plancher	22,26	--	1	19	449,35
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	19	64,16
Poteau2	B.A	1,164	--	2,90	03	10,12
Fenêtres 1	S.V	3,92	--	5	19	372,4
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						2251,51
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w) (III.4)						450,30
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						637,32
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						3339,13

Tableau IV.5 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 05.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	21,34	--	2,30	00	00
Mur 02	M.D.C	11,64	--	1,30	19	287,60
Mur 03	M.S.C	19,78	--	2,3	00	00
Mur 04	M.S.C	13,64	--	2,30	03	94,12
Dalle	plancher	23,65	--	2.037	19	915,32
Sol	plancher	23,65	--	1	19	449,35
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	19	64,16
Poteau2	B.A	1,164	--	2,90	03	10,12
Fenêtres 1	S.V	3,92	--	5	19	372,4
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						2310,74
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						462,14
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						743,69
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						3516,58

Tableau IV.6 déperdition thermique à travers les différentes parois de Salle de prière.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (C°)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	19,78	--	2,30	00	00
Mur 02	M.D.C	13,488	--	1,30	19	333,15
Mur 03	M.D.C	19,78	--	1,3	03	77,17
Mur 04	M.S.C	16,42	--	2,30	03	113,27
Dalle	plancher	28,60	--	2.037	19	1106,91
Sol	plancher	28,60	--	1	19	543,40
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	19	64,16
Fenêtres 1	S.V	6,3	--	5	19	598,5
Porte 1	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						2859,09
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						571,81
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						994,20
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						4425,12

Tableau IV.7.déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 07.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	16,98	--	2,30	03	117,21
Mur 02	M.S.C	9,61	--	2,30	03	66,27
Mur 03	M.S.C	21,34	--	2,3	03	147,24
Mur 04	M.S.C	20,18	--	2,30	03	139,21
Dalle	plancher	15,98	--	2.037	19	618,63
Sol	plancher	15,98	--	1	19	303,70
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	03	10,12
Fenêtres 1	S.V	2,8	--	5	03	42
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	11,28
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						1679,68
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w) (III.4)						335,93
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						623,73
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						2639,35

Tableau IV.8 déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réception**.**

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	23,01	--	2,30	00	00
Mur 02	M.S.C	17,19	--	2,30	03	118,62
Mur 03	M.D.C	17,15	--	1,3	03	66,88
Mur 04	M.S.V	16,45	--	5	19	1562,86
Mur 05	M.D.C	9,70	--	2,30	19	239,59
Dalle	plancher	38,11	--	2.037	19	1474,97
Sol	plancher	38,11	--	1	19	724,09
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	03	10,12
Fenêtres 1	S.V	5,88	--	5	19	558,5
Porte 1	Bois	3,76	--	2	00	00
Porte 2	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						4845,82
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w) (III.4)						969,16
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						2214,38
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						8029,37

Tableau IV.9. Déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réunion.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K (w/m^2. °C)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.V	16,45	--	5	19	1562,86
Mur 02	M.D.C	6,67	--	1,30	03	26,02
Mur 03	M.D.C	16,96	--	1,3	03	117,05
Mur 04	M.D.C	11,76	--	1,3	03	81,14
Mur 05	M.D.C	21,34	--	2,30	03	83,22
Mur 06	M.D.C	24,25	--	2,30	03	599,17
Mur 07	M.D.C	30,17	--	2,30	03	745,21
Dalle	plancher	69,52	--	2.037	19	2690,63
Sol	plancher	69,52	--	1	19	1320,88
Poteau 1	B.A	1,55	--	2,90	19	85,40
Poteau 2	B.A	2,32	--	2,90	03	20,18
Fenêtres 1	S.V	07	--	5	19	665,00
Fenêtres 2	S.V	10,08	--	5	19	957,6
Porte 1	Bois	3,76	--	2	00	45,12
Porte 2	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						9022,25
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						1804,45
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						3041,4879
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						13868,19

Tableau IV.10.déperdition thermique à travers les différentes parois de foyer.

IV.2.4. Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_T de l'immeuble doivent vérifier la relation suivant :

$$D_T \leq 1.05 \times D_{réf} \qquad (IV.14)$$

Avec :

$D_{réf}$: Les déperditions de référence (W/ °C).

D_T : Les déperditions par transmission de l'immeuble (W/°C).

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

$$D_{réf} = (a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5) \times \Delta T \qquad (IV.15)$$

Avec :

S_1 : La surface de la toiture.

S_2 : La surface de plancher bas y compris les plancher bas donnant sur des locaux non chauffés.

S_3: La surface des murs extérieurs.

S_4 : La surface des portes.

S_5 : La surface des fenêtres.

Les coefficients a, b, c, d, e en (w/m^2. °C) sont donnés dans le tableau suivant :

zone	**Immeuble collectif**				
	a	b	c	d	e
B	0	2.40	1.20	3.50	4.50

Tableau IV.11 .les différents coefficients pour les vérifications réglementaires.

Donc :

$$D_{réf} = (2.4 \times S_2 + 1.2 \times S_3 + 3.4 \times S_4 + 4.5 \times S_5) \times \Delta T$$

$$S_2 = 597{,}06 m^2$$

$$S_3 = 300 m^2$$

$$S_4 = 10{,}2 m^2$$

$$S_5 = 118{,}65 m^2$$

$$Dréf = (2.4 \times 597{,}06 + 1.2 \times 300 + 3.5 \times 10{,}2 + 4.5 \times 150{,}11) \times 19$$

$$= 47578{,}56 W$$

Avec :

$$Dréf = (w) = 47.85 \text{ kw}.$$

Après calcule on :

$$D_T = 48{,}36 KW$$

D'où :

$$1{,}05 \times 47.85 \ = 49{,}95\text{KW}$$

Donc : $48{,}36 < 49{,}95$

Alors on peut dire que la condition est vérifiée.

IV.3. Calcul Les apports calorifique [9]

Les apports calorifiques (appelés aussi gains) d'un local sont égaux à la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieur du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas comte des apports dus à l'installation.

Les apports calorifiques doivent être déterminés selon les étapes suivantes :

- Définition des zones(ou volumes) thermiques ; une zone thermique est un volume intérieures sont supposées être homogènes.
- Détermination de l'intervalle de temps critique ; pour ce faire, pour chaque façade on détermine l'heure qui correspond aux maximums par transmission à travers les parois opaque et vitrées ; l'intervalle de temps critique est délimité par la plus petite heure et par la plus grande heure choisie parmi les heures déterminées (les heures de journée sont données en temps solaire Vrai (TSV).
- Calcul des apports calorifiques pour chaque volume thermique pour 15 heures.

On calcul les apports calorifiques sensibles et latents par la formule suivante :

$$\mathrm{A_s} = \mathrm{APO} + \mathrm{AV} + \mathrm{AI_s} + \mathrm{AlNF_s} + \mathrm{AREN_s} \qquad (\mathrm{IV.16})$$

$$\mathrm{A_l} = \mathrm{AI_i} + \mathrm{AINF_l} + \mathrm{AREN_l} \qquad (\mathrm{IV.17})$$

Avec :

APO : apports par les parois opaques (W).

AV : apports à travers les parois vitrées(W).

$\mathrm{AI_s}$ Et $\mathrm{AI_i}$: parties sensibles et latentes des apports internes (W).

$\mathrm{AlNF_s}$ Et $\mathrm{AINF_1}$: parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air(W).

$\mathrm{AREN_l}$ Et$\mathrm{AREN_s}$: parties sensibles et latentes des apports par renouvèlement d'air (W).

Remarque

Les calculs doivent être menés pour le mois de juillet à 15h.

a) Apports à travers les parois opaques

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant t, APO(t), sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = 1.2 \times K_{été} \times S_{int} \times \Delta te(t) \quad (IV.18)$$

Avec :

1.2 : coefficient de majoration tenant compte des apports latéraux (à travers les ponts thermiques).

$K_{été}$: Coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été (W/m^2. °C)

S_{int}: La surface intérieure totale de la paroi considérée. (m^2)

Δte (t) : La différence équivalente de température à l'instant t. (°C)

b) Apports à travers les parois vitrées

Les apports à travers les parois vitrées ; dans notre cas extérieures AV(t) sont données par la formule suivante [2] :

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) \quad (IV.19)$$

Avec :

AVT(t) : apports dus au gradient de température à travers les parois vitrées (W)

AVE(t) : apports dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées. (W)

Les apports dus au gradient de température AVT(t) à travers les parois vitrées extérieures sont données par la formule suivante [2] :

$$AVT(t) = 1.2 \times K_{été} \times S_{ouv} \times [TS_e(t) - TS_{b,i}(t)] \quad (IV.20)$$

Avec :

1.2 : Coefficient de majoration tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques).

$K_{été}$: Coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été (W/m^2. °C).

S_{ouv} : La surface de l'ouverture dans les parois opaques (m^2).

$TS_e(t)$: La température extérieure sèche à l'instant (t) en (°C).

$TS_{b,i}(t)$: La température intérieure de base (°C).

Les apports dus au rayonnement solaire AVE (t) à travers les parois vitrées extérieures sont données par la formule suivante :

$$\text{AVE (t)} = [\text{SV}_{\text{ens}} \times \text{I}_{\text{t}} + (\text{SV} - \text{SVens}) \times \text{I}_{\text{d}}] \times \text{FS} \times \text{N}_{\text{pvi}}(\text{t}) \qquad (\text{IV.21})$$

Avec :

SV_{ens} : (m^2) la surface vitrée ensoleillé.

$(\text{SV} - \text{SVens})$ La surface vitrée à l'ombre.

I_{t} : Le rayonnement total maximal réel (W/m^2) ; (annexe A).

I_{d} : Le rayonnement diffus maximal réel (W/m^2) ; (annexe A).

$\text{N}_{\text{pvi}}(\text{t})$: Le coefficient d'amortissement relatif aux apports par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure t considérée; (annexe A)..

Fs : le facteur solaire du vitrage ; (annexe A).

c) Apports de chaleur internes

On désigne par apports de chaleur internes, ou gains internes, les quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieure des locaux conditionnés.

Les apports internes, lorsqu'ils existent, sont calculés en les considérants constants pendant la durée de fonctionnement de l'installation de climatisation. Ces apports sont calculés en considérant un amortissement des gains sensibles. On utilise pour les besoins du calcul un coefficient dit d'amortissement noté$\text{N}_{\text{AI}}(\text{t})$, ce coefficient est à affecter séparément pour chaque apport interne.

Ils sont déterminés en multipliant, pour chaque apport, les gains maximums par un coefficient de simultanéité (noté CS) spécifique à chaque apport. [2]

Les apports de chaleur internes AI(t) à l'instant t sont donnés par la formule suivante :

$$\text{AI(t)} = \sum_{\text{j}} \left(\text{CS}_{\text{j}} \times \text{Al}_{\text{s.j}} \times \text{N}_{\text{ALj}}\right) + \sum\left(\text{CS}_{\text{j}} \times \text{AI}_{\text{Lj}}\right) \qquad (\text{IV.22})$$

Avec :

$\text{Al}_{\text{s.j}}$: Partie sensible de l'apport interne (W)

AI_{Lj} : Partie latente de l'apport interne (W)

CS_{j}: Coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne j

N_{ALj} : Coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne j

(Pour notre cas $\text{AI}_{\text{Lj}} = 100\ \%$).

Les gains dus aux occupants sont une source de chaleur sensible et latente. Leur calcul doit tenir compte des personnes susceptibles de fréquenter les locaux à climatiser

Le tableau ci-dessous montrant les différents coefficients des apports d'occupant :

Degré d'activité	Exemple D'application	Apports sensibles (Sen) et latente (Lat.) en (W/personne)									
		Température sèches du local (°C)									
		28		27		26		24		21	
		Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat
Assis, repos	Classe, salle de spectrale	51	51	57	45	62	40	67	35	76	27
Assis, travail très léger	Logement, bureau, hôtel, amphithéâtre	52 52	79 94	58 58	73 88	63 64	69 83	71 74	60 72	83 85	49 62
Debout, marche	Magasin, accueil	60	102	66	96	72	91	82	80	93	70
Travail léger	Atelier, usine	56	164	64	156	72	148	86	134	107	113
Travail assez pénible	Atelier, usine, salle de sport	79	214	88	205	97	197	112	181	135	158
Travail pénible	Atelier, usine, salle de sport	131	293	136	288	142	283	154	271	177 248	

Tableau .IV.12 Montrant les différents coefficients des apports d'occupant.

Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible.

Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à celui-ci sont donnés par la formule suivante :

$$AL = \sum (W_n \times C_{me} \times C_{cr}) \qquad (IV.23)$$

Avec :

W_n : La puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent (W).

C_{me} : C'est un coefficient de majoration.

C_{cr} : C'est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de C_{me} :

Types de lampe	**Valeur de C_{me}**
lampes à incandescence	1.2
tubes fluorescents	1.25

Tableau IV.13 Les valeurs de C_{me} .

Le tableau ci-dessous représente les valeurs de C_{cr} :

puissance des lampes ou de tube(W)	20	30	50	100
C_{cr}	0,6	0,5	0,4	0,35

Tableau IV.14 les valeurs de C_{cr} .

Si l'on ne connaît pas la puissance pour l'éclairage, on calculera les gains dus à celui-ci en utilisant le tableau suivant :

Désignation du local ou genre d'activité	Intensité lumineuse recommandée (lux)	Puissance dégagée des lampes ou des tubes (W/m^2)	
		Lampes à incandescence	Lampes fluorescentes
Bureaux, salle de cours	250	75	16

Tableau IV.15. Apports dus à l'éclairage.

d) Apports de chaleur par introduction d'air extérieur

Les apports de chaleur dus à l'introduction d'air extérieur sont une source de chaleur latente et sensible. On distingue :

- Les apports sensibles dus au renouvellement de d'air $AREN_s$, et dus aux infiltrations $AINF_s$ sont donnés par les formules suivant :

$$AREN_s = 0.32 \times qv_{an} \times \left(TS_e(t) - TS_{bi}(t)\right) \quad (IV.24)$$

$$AINF_s = 0.32 \times qv_{inf} \times \left(TSe(t) - TSbi(t)\right) \quad (IV.25)$$

Avec :

0.32 (J/m^3. °C) : Le produit de la chaleur spécifique de l'air (1004 J/Kg. °C) par la masse volumique de l'air (1.15Kg/m^3) et par facteur de conversion (1/3600)

qv_{an} : Le débit d'air neuf (m^3/h).

qv_{inf} : Le débit dû aux infiltrations (m^3/h).

TS_{bi} : La température sèche de l'aire intérieure (°C).

TS_e: La température sèche de l'aire extérieure (°C).

Les apports latents dus au renouvellement de l'air $AREN_l$, et dus aux infiltrations $AINF_l$ sont donnés par les formules suivant :

$$AREN_l(t) = 0.797 \times qv_{an} \times Max\left[\left(HS_{b,e} - HS_{b,I}\right); 0\right] \quad (IV.26)$$

$$AINF_l(t) = 0.797 \times qv_{inf} \times Max\left[\left(HS_{b,e} - HS_{b,i}\right); 0\right] \quad (IV.27)$$

Avec :

0.797(J.kg $_{air}$ /g_{vap}.m^3_{air}) : le produit de la masse volumique moyenne de l'air (1.15 Kg/m^3) par la chaleur de vaporisation de l'eau (2498J/g) et par facteur de conversion (1/3600).

qv_{an}: Le débit d'air neuf (m^3/h).

qv_{inf}: Le débit dû aux infiltrations (m^3/h).

$HS_{b,e}(t)$: L'humidité spécifique de base de l'air extérieure (°C).

$HS_{b,i}$: L'humidité spécifique de base de l'air intérieure (°C).

Le débit d'air neuf d'un local est donné par la formule suivante [2] :

$$Qv_{an} = Max.\left[0.6 \times V_h ;\ qve_{réf}\right] \quad (IV.28)$$

Avec :

V_h : désigne le volume habitable (m^3).

$qve_{réf}$: Désigne le débit extrait de référence (m3/h).

Le débit d'air du à l'infiltration est donnée par la formule suivante :

$$qv_{inf} = \sum (qvo_{inf} \times S_{ouv}) \quad (IV.29)$$

Avec :

qv_{inf} : (m^3/h): le débit d'infiltration correspondant à l'ouvrant i considéré ; les valeurs de qvo_{inf} : doivent être fournies soit par le fabricant, soit par l'avis technique ; à défaut, on utilisera les valeurs du tableau suivant

Désignation	**qvo_{inf} (m^3/h)**
Fenêtre ou porte-fenêtre	14.5
Double fenêtre	8.7
Porte simple	21.7
Porte simple avec seuil et joint d'étanchéité	4.5
Porte en verre ou glace	145
Double porte avec sas Portes simples Porte simple avec seuil et joint D'étanchéité Portes en verre	 4.2 0.90 28.1
Porte à tambour Avec joint d'étanchéité Sans joint d'étanchéité	 7.3 21.7

Tableau IV.16. Les infiltrations par les portes et fenêtres.

Les tableaux ci-dessous montrent le calcul des différents apports (sensibles et latents) pour l'ensemble locaux de l'immeuble sans amélioration:

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,\ i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.S.V	19,671	S	1.36	24	37	10,75	---	00
Mur 02	M.D.C	15,90	E	1.36	24	37	10,75	---	279,23
Dale	Dale	20,87	--	2,6	24	37	10,75	26,5	581,29
Sol	planche	20,87	--	1	24	34	--	26.5	58,20
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									639,49
$AI_s(t)$ (W)									786,21
AV(t) (W)									24479,54
$AINF_s(t)$ (W)									1495,93
$AREN_s(t)$ (W)									201,31
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									27881,73
AI_L (t) (W)									201,24
$AINF_L$ (t) (W)									7738,23
$AREN_L$ (t) (W)									1041,35
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									8980,82

Tableau IV.17.les apports à travers les différentes parois bureaux №: 1.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ (W/m^2. °C)	$T_{sb,\ i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	7,956	E	1.36	24	37	18.45	---	239,65
Dale	Dale	13,77		2,6	24	37	18.45	26,5	660,79
Sol	place	13,77		1,12	24	37	--	26.5	38,55
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									938,99
$AI_s(t)$ (W)									606,21
AV(t) (W)									1181,67
$AINF_s(t)$ (W)									378,8096
$AREN_s(t)$ (W)									133,35
La somme des apports sensibles $\sum A_s\ (t)$ (W)									3239,04
$AI_L\ (t)$ (W)									146,52
$AINF_L\ (t)$ (W)									1959,52
$AREN_L\ (t)$ (W)									689,82
La somme des apports latents $\sum A_I\ (t)$ (W)									2795,86

Tableau IV.18.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 2.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ (W/m^2. °C)	$T_{sb,\ i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	14,74	E	1.36	24	37	18.45	---	444,23
Mur 02	M.D.C	8,496	N	1.36	24	37	2,55	---	35,35
Dale	Dale	13,77		2,6	24	37	18.45	26,5	783,16
Sol	planché	13,77		1,12	24	37	--	26.5	45,69
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									1308,45
$AI_s(t)$ (W)									696,21
AV(t) (W)									5712,42
$AINF_s(t)$ (W)									649,04
$AREN_s(t)$ (W)									130,35
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									8496,48
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									3357,39
$AREN_L$ (t) (W)									674,28
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									4178,19

Tableau IV.19.les apports à travers les différentes parois bureaux №=3

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ (W/m^2. °C)	$T_{sb,\ i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	11,794	N	1.36	24	37	2,55	---	49,08
Dale	Dalle	15,79	--	2,6	24	37	18.45	26,5	757,96
Sol	planché	15,795	--	1,12	24	37	--	26.5	44,226
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									851,27
$AI_s(t)$ (W)									696,21
AV(t) (W)									3349,08
$AINF_s(t)$ (W)									345,03
$AREN_s(t)$ (W)									153,75
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									5395,36
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									1784,78
$AREN_L$ (t) (W)									795,34
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									2726,65

Tableau IV.20.les apports à travers les différentes parois bureaux №:4

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	10,67	N	1.36	24	37	2,55	---	44,42091
Dale	Dalle	21,86	--	2,6	24	37	18.45	26,5	1049,40
Sol	planché	21,86	--	1,12	24	37	--	26.5	61,23
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									1155,05
$AI_s(t)$ (W)									786,216
AV(t) (W)									4305,96
$AINF_s(t)$ (W)									412,588
$AREN_s(t)$ (W)									271,27
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									6931,09
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									2134,25
$AREN_L$ (t) (W)									1403,26
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									3684,04

Tableau IV.21.les apports à travers les différentes parois bureaux №: 5

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	10,48	N	1.36	24	37	2,55	---	43,61
Dale	Dalle	22	--	2,6	24	37	18.45	26,5	1055,73
Sol	planché	22	--	1,12	24	37	--	26.5	61,6
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									1160,94
$AI_s(t)$ (W)									540
AV(t) (W)									4305,96
$AINF_s(t)$ (W)									412,58
$AREN_s(t)$ (W)									302,01
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									6721,51
AI_L (t) (W)									201,24
$AINF_L$ (t) (W)									2134,25
$AREN_L$ (t) (W)									1562,28
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									3897,77

Tableau IV.22.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 6

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	13,10	N	1.36	24	37	18,45	---	394,59
Mur 02	M.D.C	21,34	O	1.36	24	37	13	---	452,74
Dale	Dalle	27,5	--	2,6	24	37	18.45	26,5	1319,66
Sol	planché	27,5	--	1,12	24	37	--	26.5	77
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									2244,01
$AI_s(t)$ (W)									540
AV(t) (W)									11696,06
$AINF_s(t)$ (W)									597,168
$AREN_s(t)$ (W)									377,52
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									15454,76
AI_L (t) (W)									474,84
$AINF_L$ (t) (W)									3089,05
$AREN_L$ (t) (W)									1952,84
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									5516,74

Tableau IV.23.les apports à travers les différentes parois de la salle de prière.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	24,25	O	1.36	24	37	7,46	---	295,38
Mur 02	M.D.C	21,04	S	1.36	24	37	21,47	---	737,53
Mur 03	M.D.C	11,74	SO	1.36	24	37	4,77	---	301,67
Dale	Dalle	68,80	--	2,6	24	37	18.45	26,5	3842,16
Sol	planché	68,80	--	1,12	24	37	--	26.5	192,64
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									5369,40
$AI_s(t)$ (W)									2862
AV(t) (W)									70087,62
$AINF_s(t)$ (W)									1623,81
$AREN_s(t)$ (W)									1476,83
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									81419,67
AI_L (t) (W)									639
$AINF_L$ (t) (W)									8399,72
$AREN_L$ (t) (W)									7639,417
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									16678,14

Tableau IV.24.les apports à travers les différentes parois Foyer.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	18,70	O	1.36	24	37	7,46	---	227,72
Mur 02	M.D.C	8,04	S	1.36	24	37	4,77	---	62,72
Mur 03	M.D.C	8,84	SO	1.36	24	37	21,2	---	306,07
Dale	Dalle	36,80	--	2,6	24	37	18.45	26,5	457,13
Sol	planché	36,80	--	1,12	24	37	--	26.5	103,06
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									1156,72
$AI_s(t)$ (W)									966,21
AV(t) (W)									29501,97
$AINF_s(t)$ (W)									957,88
$AREN_s(t)$ (W)									790,10
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									33372,90
AI_L (t) (W)									529,56
$AINF_L$ (t) (W)									4954,96
$AREN_L$ (t) (W)									4087,08
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									9571,613

Tableau IV.25.les apports à travers les différentes parois salle de la réunion.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Dale	Dalle	36,80	--	2,6	24	37	18.45	26,5	457,13
Sol	planché	36,80	--	1,12	24	37	--	26.5	44,75
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									811,79
$AI_s(t)$ (W)									606,21
AV(t) (W)									3638,79
$AINF_s(t)$ (W)									694,88
$AREN_s(t)$ (W)									154,79
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									5906,48
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									3594,53
$AREN_L$ (t) (W)									800,73
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									4541,79

Tableau IV.26. Les apports à travers les différentes parois de la salle de réception.

IV.4.Calcul Les déperditions après l'amélioration

La conception proposée après amélioration est montrée par l'utilisation (polystyrène extrudé et double vitrage).

Les tableaux ci-dessous montrant le calcul des différents locaux de l'immeuble après amélioration :

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	16,29	--	0,46	19	120,75
Mur 02	M.S.C	18,29	--	0,52	00	00
Mur 03	M.S.C	12,53	--	0,52	00	00
Mur 04	M.D.C	13,87	--	0,46	19	102,82
Dalle	plancher	21,84	--	.0,57	19	195,03
Sol	plancher	21,84	--	0,9	19	373,46
Poteau	B.A	1,164	--	0 ,56	19	10,17
Fenêtres	D.V	6,3	--	3,1	19	324,38
Porte 1	Bois	0,98	--	2	00	00
Porte 2	Bois	3,76	--	2	00	00
La somme des déperditions surfaciques par transmission $D_T(w)$						1126,63
Les déperditions à travers les liaisons $D_{li}(w)$. (III.4)						225,32
Les déperditions par renouvèlement d'air $D_R(w)$. (III.10)						778,985
La somme totale des déperditions $D_{tot}(w)$						2130,94

Tableau IV.27. Déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 01

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	9,12	--	0,46	19	67,57
Mur 02	M.S.C	13,9892	--	0,52	00	00
Mur 03	M.S.C	16,296	--	0,52	00	00
Mur 04	M.S.C	14,64	--	0,52	00	00
Dalle	plancher	15,60	--	0,57	19	139,30
Sol	plancher	15,60	--	0,9	19	266,76
Poteau	B.A	1,55	--	0,56	19	85,51
Fenêtres	S.V	2,52	--	3,1	19	239,4
Porte 1	Bois	0,98	--	2	00	00
Porte 2	Bois	0,98	--	2	00	00
La somme des déperditions surfaciques par transmission $D_T(w)$						802,48
Les déperditions à travers les liaisons $D_{li}(w)$ (III.4)						160,49
Les déperditions par renouvèlement d'air $D_R(w)$ (III.10)						511,85
La somme totale des déperditions $D_{tot}(w)$						1474,83

Tableau IV.28 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 02.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.D.C	14,74	--	0,46	19	109,28
Mur 02	MD.C	9,466	--	0,46	19	70,14
Mur 03	M.S.C	15,90	--	0,52	00	00
Mur 04	M.D.C	11,83	--	0,46	03	13,84
Dalle	plancher	17,94	--	0,57	19	160,20
Sol	plancher	17,94	--	0,9	19	306,77
Poteau 1	B.A	0,77	--	0,56	19	6,78
Poteau 2	B.A	1,55	--	0,56	03	2,14
Fenêtres 1	S.V	5,04	--	3,1	19	259,50
Fenêtres 2	S.V	3,92	--	3,1	19	201,84
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T [w]						1136,40
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						227,28
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						642,35
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						2006,04

Tableau IV.29. Déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 03.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	15,13	--	0,52	00	00
Mur 02	M.D.C	10,24	--	0,46	19	75,89
Mur 03	M.S.C	15,13	--	0,52	00	00
Mur 04	M.D.C	13,83	--	0,46	03	18,26
Dalle	plancher	15,79	--	0,57	19	141,04
Sol	plancher	15,79	--	0,9	19	270,09
Poteau 1	B.A	1,55	--	0,56	19	13,85
Fenêtres 1	S.V	5,04	--	3,1	19	201,09
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						726,13
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						145,22
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						483,80
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						1355,16

Tableau IV.30 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 04.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	15,13	--	0,52	00	00
Mur 02	M.D.C	10,48	--	0,46	19	77,65
Mur 03	M.S.C	21,34	--	0,52	00	00
Mur 04	M.S.C	18,04	--	0,52	03	23,81
Dalle	plancher	22,26	--	0,57	19	198,78
Sol	plancher	22,26	--	0,90	19	380,64
Poteau 1	B.A	1,164	--	0,56	19	13,56
Poteau2	B.A	1,164	--	0,56	03	2,14
Fenêtres 1	S.V	3,92	--	3,10	19	259,50
Porte 1	Bois	0,98	--	2.àà	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						961,99
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w)(III.4)						192,39
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						637,32
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						1791,71

Tableau IV.31 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 05**.**

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	21,34	--	0,52	00	00
Mur 02	M.D.C	11,64	--	0,46	19	86,28
Mur 03	M.S.C	19,78	--	0,52	00	00
Mur 04	M.S.C	13,64	--	0,46	03	18,00
Dalle	plancher	23,65	--	0,57	19	211,19
Sol	plancher	23,65	--	0,9	19	404,41
Poteau 1	B.A	1,164	--	0,56	19	10,17
Poteau2	B.A	1,164	--	0,56	03	1,60
Fenêtres 1	S.V	3,92	--	3,1	19	259,50
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	5,88
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						1002,46
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						200,49
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						743,69
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						1946,65

Tableau IV.32. Déperdition thermique à travers les différentes parois de Salle de prière**.**

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (C°)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	19,78	--	0,52	00	00
Mur 02	M.D.C	13,488	--	0,46	19	99,94
Mur 03	M.D.C	19,78	--	0,46	03	23,15
Mur 04	M.S.C	16,42	--	0,52	03	21,66
Dalle	plancher	28,60	--	0,57	19	255,39
Sol	plancher	28,60	--	0,9	19	489,06
Poteau 1	B.A	1,164	--	0,56	19	10,17
Fenêtres 1	S.V	6,3	--	3,1	19	324,38
Porte 1	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						1246,34
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						249,26
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						994,20
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						2489,81

Tableau IV.33 déperdition thermique à travers les différentes parois de bureau № 07.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	16,98	--	0,52	03	22,42
Mur 02	M.S.C	9,61	--	0,52	03	12,67
Mur 03	M.S.C	21,34	--	0,52	03	28,16
Mur 04	M.S.C	20,18	--	0,52	03	26,63
Dalle	plancher	15,98	--	0,57	19	618,62
Sol	plancher	15,98	--	0,9	19	273,32
Poteau 1	B.A	1,164	--	0,56	03	1,60
Fenêtres 1	S.V	2,8	--	3,1	03	144,17
Porte 1	Bois	0,98	--	2	03	11,28
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						1138,91
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w) (III.4)						227,78
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						623,73
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						1990,43

Tableau IV.34. Déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réception.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.C	23,01	--	0,52	00	00
Mur 02	M.S.C	17,19	--	0,52	03	22,69
Mur 03	M.D.C	17,15	--	1,3	03	20,06
Mur 04	M.S.V	16,45	--	3,1	19	847,07
Mur 05	M.D.C	9,70	--	0,52	19	81,09
Dalle	plancher	38,11	--	0,57	19	340,32
Sol	plancher	38,11	--	0,9	19	651,68
Poteau 1	B.A	1,164	--	2,90	03	2,14
Fenêtres 1	S.V	5,88	--	3,1	19	302,76
Porte 1	Bois	3,76	--	2	00	00
Porte 2	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						2300,56
Les déperditions à travers les liaisons D_{li}(w)(III.4)						460,11
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						2214,38
La somme totale des déperditions D_{tot} (w)						4975,06

Tableau IV.35 déperdition thermique à travers les différentes parois de salle de réunion.

parois	types	Surface (m^2)	Périmètre (m)	K ($w/m^2.°C$)	ΔT (°C)	Déperdition (w)
Mur 01	M.S.V	16,45	--	3,1	19	847,07
Mur 02	M.D.C	6,67	--	0,46	03	7,80
Mur 03	M.D.C	16,96	--	0,52	03	22,39
Mur 04	M.D.C	11,76	--	0,52	03	15,52
Mur 05	M.D.C	21,34	--	0,46	03	24,96
Mur 06	M.D.C	24,25	--	0,46	03	179,75
Mur 07	M.D.C	30,17	--	0,46	03	223,56
Dalle	plancher	69,52	--	0,57	19	620,81
Sol	plancher	69,52	--	0,9	19	1188,79
Poteau 1	B.A	1,55	--	0,56	19	13,56
Poteau 2	B.A	2,32	--	0,56	03	3,21
Fenêtres 1	S.V	07	--	3,1	19	360,43
Fenêtres 2	S.V	10,08	--	3,1	19	519,01
Porte 1	Bois	3,76	--	2	00	45,12
Porte 2	Bois	3,76	--	2	03	22,56
La somme des déperditions surfaciques par transmission D_T (w)						4094,59
Les déperditions à travers les liaisons D_{li} (w) (III.4)						818,91
Les déperditions par renouvèlement d'air D_R (w) (III.10)						3041,4879
La somme totale des déperditions D_{tot}(w)						7954,99

Tableau IV.36 déperdition thermique à travers les différentes parois de foyer.

IV.5. Les apports après amélioration

Les tableaux ci-dessous montrent le calcul des différents apports (sensibles et latents) pour l'ensemble des locaux de l'immeuble après l'amélioration de construction :

Parois	Types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.S.V	19,67	S	3,1	24	37	18.45	---	00
Mur 02	M.D.C	15,90	E	0,40	24	37	18.45	---	82,12
Dale	Dalle	20,87	--	0,46	24	37	18.45	26,5	102,84
Sol	planche	20,87	--	0,9	24	34	--	26.5	46,77
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									149,61
$AI_s(t)$ (W)									474,21
AV(t) (W)									9400,81
$AINF_s(t)$ (W)									1051,25
$AREN_s(t)$ (W)									201,31
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									11359,34
AI_L (t) (W)									201,24
$AINF_L$ (t) (W)									5437,98
$AREN_L$ (t) (W)									1041,35
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									6680,57

Tableau IV.37.les apports à travers les différentes parois bureaux № : 1.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	7,956	E	0,40	24	37	18.45	---	70,48468
Dale	Dalle	13,77		0,46	24	37	18.45	26,5	116,9096
Sol	planche	13,77		0,9	24	37	--	26.5	30,98
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									218,3768
$AI_s(t)$ (W)									450,21
AV(t) (W)									684,52
$AINF_s(t)$ (W)									378,8096
$AREN_s(t)$ (W)									133,35
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									2034,44
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									1959,52
$AREN_L$ (t) (W)									689,82
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									2795,86

Tableau IV.38.les apports à travers les différentes parois bureaux №: 2.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	14,74	E	0,40	24	37	18.45	---	130,65
Mur 02	M.D.C	8,496	N	0,40	24	37	2,55	---	10,39
Dale	Dalle	13,77		0,46	24	37	18.45	26,5	138,55
Sol	planché	13,77		0,9	24	37	--	26.5	36,72
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									316,33
$AI_s(t)$ (W)									696,21
AV(t) (W)									3325,32
$AINF_s(t)$ (W)									649,04
$AREN_s(t)$ (W)									130,35
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									4883,26
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									3357,39
$AREN_L$ (t) (W)									674,28
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									4178,19

Tableau IV.39.les apports à travers les différentes parois bureau№:3

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	11,794	N	0,40	24	37	2,55	---	14,43
Dale	Dalle	15,79	--	0,46	24	37	18.45	26,5	134,10
Sol	planché	15,795	--	0,9	24	37	--	26.5	35,53
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									184,07
$AI_s(t)$ (W)									696,21
AV(t) (W)									1956,26
$AINF_s(t)$ (W)									345,03
$AREN_s(t)$ (W)									153,75
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									3101,34
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									1784,78
$AREN_L$ (t) (W)									795,34
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									2726,65

Tableau IV.40.les apports à travers les différentes parois du bureau №:4.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	10,67	N	0,40	24	37	2,55	---	13,06
Dale	Dalle	21,86	--	0,46	24	37	18.45	26,5	185,66
Sol	planché	21,86	--	0,90	24	37	--	26.5	49,20
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									247,93
$AI_s(t)$ (W)									786,216
AV(t) (W)									2515,20
$AINF_s(t)$ (W)									412,588
$AREN_s(t)$ (W)									271,27
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									3921,21
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									2134,25
$AREN_L$ (t) (W)									1403,26
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									3684,04

Tableau IV.41.les apports à travers les différentes parois du bureau №: 5.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta t_e(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 02	M.D.C	10,48	N	0,40	24	37	2,55	---	12,82
Dale	Dalle	22	--	0,46	24	37	18.45	26,5	186,78
Sol	planché	22	--	0,90	24	37	--	26.5	49,50
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									249,11
$AI_s(t)$ (W)									72
AV(t) (W)									2553,70
$AINF_s(t)$ (W)									412,58
$AREN_s(t)$ (W)									302,01
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									3589,41
AI_L (t) (W)									201,24
$AINF_L$ (t) (W)									2134,25
$AREN_L$ (t) (W)									1562,28
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									3897,77

Tableau IV.42.les apports à travers les différentes parois du bureau №: 6

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	13,10	N	0,40	24	37	18,45	---	116,05
Mur 02	M.D.C	21,34	O	0,40	24	37	13	---	133,16
Dale	Dalle	27,5	--	0,46	24	37	18.45	26,5	233,47
Sol	planché	27,5	--	0,90	24	37	--	26.5	61,87
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									544,57
$AI_s(t)$ (W)									72
$AV(t)$ (W)									6869,03
$AINF_s(t)$ (W)									597,168
$AREN_s(t)$ (W)									377,52
La somme des apports sensibles $\sum A_s(t)$ (W)									8460,29
$AI_L(t)$ (W)									474,84
$AINF_L(t)$ (W)									3089,05
$AREN_L(t)$ (W)									1952,84
La somme des apports latents $\sum A_I(t)$ (W)									5516,74

Tableau IV.43.les apports à travers les différentes parois de la salle de prière.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	24,25	O	0,40	24	37	7,46	---	86,87
Mur 02	M.D.C	21,04	S	0,40	24	37	21,47	---	216,92
Mur 03	M.D.C	11,74	SO	0,40	24	37	4,77	---	88,72
Dale	Dalle	68,80	--	0,46	24	37	18.45	26,5	679,76
Sol	planché	68,80	--	0,9	24	37	--	26.5	154,80
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									1227,09
$AI_s(t)$ (W)									2862
$AV(t)$ (W)									41202,60
$AINF_s(t)$ (W)									1623,81
$AREN_s(t)$ (W)									1476,83
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									47924,35
AI_L (t) (W)									639
$AINF_L$ (t) (W)									8399,72
$AREN_L$ (t) (W)									7639,417
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									16678,14

Tableau IV.44.les apports à travers les différentes parois du Foyer.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Mur 01	M.D.C	18,701	O	0,40	24	37	7,46	---	66,97
Mur 02	M.D.C	8,04	S	0,40	24	37	4,77	---	18,44
Mur 03	M.D.C	8,84	SO	0,40	24	37	21,2	---	90,02
Dale	Dalle	36,80	--	0,46	24	37	18.45	26,5	80,87
Sol	planché	36,80	--	0,90	24	37	--	26.5	82,81
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									339,14
$AI_s(t)$ (W)									498,21
$AV(t)$ (W)									17363,16
$AINF_s(t)$ (W)									957,88
$AREN_s(t)$ (W)									790,10
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									19948,51
AI_L (t) (W)									529,56
$AINF_L$ (t) (W)									4954,96
$AREN_L$ (t) (W)									4087,08
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									9571,613

Tableau IV.45.les apports à travers les différentes parois de la salle de réunion.

Parois	types	S (m^2)	Orientation	$K_{été}$ ($W/m^2.°C$)	$T_{sb,i}$ (°C)	$T_{se}(t)$ (°C)	$\Delta_{te}(t)$ (°C)	TS_m (°C)	A (W)
Dale	Dalle	36,80	--	0,46	24	37	18.45	26,5	135,70
Sol	planché	36,80	--	0,9	24	37	--	26.5	35,96
Les apports dus au gradient de température entre deux ambiances $A(t)(W)$									171,67
$AI_s(t)$ (W)									450,21
AV(t) (W)									2107,90
$AINF_s(t)$ (W)									694,88
$AREN_s(t)$ (W)									154,79
La somme des apports sensibles $\sum A_s$ (t) (W)									3579,47
AI_L (t) (W)									146,52
$AINF_L$ (t) (W)									3594,53
$AREN_L$ (t) (W)									800,73
La somme des apports latents $\sum A_I$ (t) (W)									4541,79

Tableau IV.46. Les apports à travers les différentes parois de la salle de réception.

IV.5.Résumés des apports et des déperditions

Les tableaux ci-dessous représentent résumes du calcul des apports et des déperditions (avant et après d'amélioration) de construction de l'immeuble :

Les locaux	Déperdition par transmission (W)	Les déperditions par renouvèlement d'air (W)	Les déperditions à travers les liaisons (W)
Bureaux 1	2668,11	533,62	778,985
Bureaux 2	1454,27	290,85	511,85
Bureaux 3	2592,77	518,55	642,35
Bureaux 4	1723,64	344,72	483,80
Bureaux 5	2251,51	450,30	637,32
Bureaux 6	2310,74	462,14	743,69
Bureaux 7	2859,09	571,81	994,20
Bureaux 8	1679,68	335,93	623,73
Bureaux 9	4845,82	969,16	2214,38
Bureaux 10	9022,25	1804,45	3041,4879
La somme	31407,88	6281,53	10671,79
La somme totale	48361,20	**48,36 kW**	

Tableau IV.47.résumés du calcul des déperditions de l'immeuble avant amélioration.

Les locaux	Déperdition par transmission (W)	Les déperditions par renouvèlement d'air(W)	Les déperditions à travers les liaisons (W)
Bureaux 1	1126,63	225,32	778,985
Bureaux 2	802,48	160,49	511,85
Bureaux 3	1136,40	227,28	642,35
Bureaux 4	726,13	145,22	483,80
Bureaux 5	961,99	192,39	637,32
Bureaux 6	1002,46	200,49	743,69
Bureaux 7	1246,34	249,26	994,20
Bureaux 8	1138,91	227,78	623,73
Bureaux 9	2300,56	460,11	2214,38
Bureaux 10	4094,59	818,91	3041,4879
La somme	14536,49	2907,25	10671,79
La somme totale	28115,53W	**28,11 KW**	

Tableau IV.48.résumés du calcul des déperditions de l'immeuble après amélioration.

Les locaux	Les apports par transmission (W)	Les apports sensibles (W)	Les apports latents (W)
Bureaux 1	639,49	27881,73	8980,82
Bureaux 2	938,99	3239,04	2795,86
Bureaux 3	1308,45	8496,48	4178,19
Bureaux 4	851,27	5395,36	2726,65
Bureaux 5	1155,05	6931,09	3684,04
Bureaux 6	1160,94	6721,51	3897,77
Bureaux 7	2244,01	15454,76	5516,74
Bureaux 8	5369,4	81419,67	16678,14
Bureaux 9	1156,72	33372,9	9571,613
Bureaux 10	811,79	5906,48	4541,79
La somme	15636,11	194819,02	62571,613
La somme totale	273026,743W		**273,026 KW**

Tableau III.49.Résumés du calcul des apports de l'immeuble avant amélioration.

Les locaux	Les apports par transmission (W)	Les apports sensibles (W)	Les apports latents (W)
Bureaux 1	149,77	11359,34	6680,57
Bureaux 2	218,37	2034,44	2795,86
Bureaux 3	316,33	4883,26	4178,19
Bureaux 4	184,07	3101,34	2726,65
Bureaux 5	247,93	3921,21	3684,04
Bureaux 6	249,11	3589,41	3897,77
Bureaux 7	544,57	8460,29	5516,74
Bureaux 8	1227,09	47924,35	16678,14
Bureaux 9	339,14	19948,51	9571,613
Bureaux 10	171,67	3579,47	4541,79
La somme	3648,05	108801,62	60271,363
La somme totale	172721,033		**172,72 KW**

Tableau IV.50.résumés du calcul des apports de l'immeuble après amélioration.

V.1. Introduction

L'Algérie est un pays riche en ressources énergétiques fossiles et dépend à plus de 96 %. Il est donc nécessaire de réduire les besoins énergétiques tout en améliorant l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment. Celui-ci offre des possibilités de réduction considérable de la consommation énergétique, notamment par l'amélioration de l'isolation thermique des enveloppes. Ainsi, l'efficacité énergétique dans les bâtiments et l'isolation thermique des enveloppes constituent un domaine de recherche très important et ont connu un grand développement ces dernières années ; Dans ce travail, on propose d'étudier l'effet de l'isolation thermique, le choix de vitrage et l'éclairage sur la consommation énergétique d'un Bloc administrative.

V.2. Facteurs intervenant dans le chauffage ou la climatisation

a) *Energie*

Le chauffage et les systèmes de climatisation fonctionnement principalement par l'énergie électrique est cette dernière est produite par L'énergie fossile ; cette énergie qui n'est pas éternelle nécessite de revoir la façon de construire les longtemps.

b) *L'énergie électrique*

L'augmentation de la consommation d'électricité dans de nombreux pays en développement, parmi les plus petits et les plus pauvres, pose un problème très grave en raison du coût élevé des équipements nécessaires à la production et à l'utilisation de cette énergie et qui doivent, normalement, être importés. L'utilisation de l'électricité contrairement au développement de certaines autres formes d'énergie ne produit pas directement de devises pour le remboursement des dettes encourues pour des investissements. Malgré de nombreuses études, ce problème n'est pas bien metrisé.

c) *Énergies fossiles*

Pendant des milliers d'années, les êtres humains ont vécu en domestiquant les énergies renouvelables (feu, traction animale, moulins, navigation à voile, force humaine, etc.). Depuis la révolution industrielle, l'homme puise abondamment dans le sous-sol pour en extraire les énergies non renouvelables, appelées énergies fossiles, que la planète a mis des millions d'années à former. Le pétrole, le gaz et le charbon se sont formés dans des conditions climatiques particulières et à des époques bien définies. Il n'est pas certain que de telles conditions se reproduisent.

Et quand bien même ce serait le cas, des millions d'années seraient nécessaires pour reconstituer des stocks exploitables. Le charbon, le pétrole, le gaz….etc.

d) ***Pétrole et gaz naturel***

Le pétrole sera encore la ressource énergétique prédominante pendant toute la première moitié siècle, a fait l'unanimité. L'approvisionnement en pétrole et son utilisation auront les incidences sociales et économiques les plus importantes, seront, sans aucun doute, au centre des discussions géopolitiques et constitueront un facteur majeur dans le cadre de toutes les considérations écologiques. Il est vrai que les réserves prouvées de pétrole et de gaz de nombreuses régions ne sont pas importantes, comparées au taux des consommations, mais, normalement, on peut espérer de nouvelles découvertes substantielles car, en général, il n'est pas économique d'établir des estimations des réserves prouvées plus de dix à 15 ans avant leur mise en production probable.

Prix de l'énergie

De nombreux prix énergétiques, tels que ceux du gaz et du charbon, sont liés au prix du pétrole brut et cette situation ne changera pas dans un avenir prévisible. Il est probable que le prix du pétrole brut (en termes réels) augmentera progressivement au cours des dix prochaines années et au-delà. Une augmentation importante est peu probable même si la possibilité ne peut en être exclue. La stabilité et la prévisibilité des prix énergétiques sont très importantes pour les pays en voie de développement.ne disposant pas de ressources nationales adéquates. mais à long terme, des sources d'énergie plus conventionnelles remplaceront en partie ces ressources renouvelables, acceptable sur le plan économique et écologique, au cours des prochaines décennies.

V.3. Economie d'énergie sur la construction

V.3.1. Épaisseur optimale de l'isolant [5]

On peut trouver les épaisseurs d'isolant et les types de vitrage optimaux en fixant ou non des conditions telles qu'un investissement donné ou un coût annuel donné.

Le prix ou la quantité d'énergie consommée pour la construction augmente avec l'épaisseur d'isolant. Par contre, le coût du chauffage ou l'énergie consommée pendant l'exploitation diminue avec cette épaisseur. Le coût total, montré sur la (Figure. V.1.) Présente alors un minimum pour une épaisseur optimale, qu'il est possible de calculer.

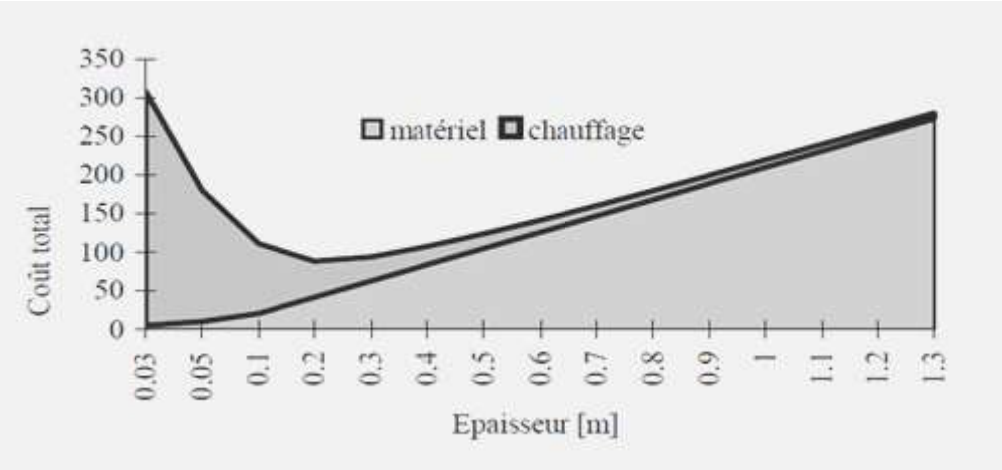


Figure .V.1. L'épaisseur optimale en fonction de cout totale [5].

Si l'on cherche à minimiser soit le coût total (investissement et coût du chauffage sur la durée de vie totale de l'élément considéré), soit la consommation d'énergie totale (fabrication, montage et chauffage sur la durée de vie totale de l'élément considéré), on peut trouver une épaisseur optimale, e_{opt} pour un isolant donné. Les expressions ci-dessous donnent les deux formules correspondant au coût énergétique C_{ener} (J) et au coût financier C_{fin} (CHF), ainsi que les épaisseurs optimales correspondantes $e_{opt,ener}$ et $e_{opt,fin}$ [5].

$$C_{ener} = E_i \times e + \frac{T \times Dj \times 86400}{\eta_{ch}} \times \frac{1}{R_i + \frac{e}{\lambda}} \qquad (V.1)$$

$$e_{opt,ener} = \sqrt{\frac{T \times Dj \times \lambda \times 86400}{\eta_{ch} \times E_i}} - R_i \times \lambda \qquad (V.2)$$

$$C_{fin} = P_i \times e + T \times DJ \times \frac{86400}{\eta_{ch}} \times \frac{P}{R_i + \frac{e}{\lambda}} \qquad (V.3)$$

$$e_{opt,fin} = \sqrt{\frac{T \times Dj \times \lambda \times P \times 86400}{\eta_{ch} \times P_i}} - R_i \times \lambda \qquad (IV.4)$$

Avec :

e : épaisseur d'isolant (m)

E_i : Coût énergétique de 1 m d'isolant (J/m^3).

λ : conductivité thermique du matériau isolant considéré (W/m K).

P_i : Prix du m^2 d'isolant (CHF/m^3).

R_i : Résistance initiale de l'élément de construction "nu", sans l'isolant (m² K/W). R· λ est l'épaisseur d'isolant équivalant à l'élément nu.

DJ = nombre de degrés-jour pour le climat considéré, à savoir la somme, sur tous les jours où elle est positive, des différences entre les températures intérieure et extérieure moyennes, durant une année:

$$DJ = \sum_{T_i > T_e} T_i - T_e \qquad (V.5)$$

Avec :

T = durée de vie du bâtiment (années).

P = prix de l'énergie (DA/ KWh).

η_{ch} = rendement de la production de chaleur.

Notons que l'épaisseur optimale augmente avec la racine du prix de l'énergie. Or, on connaît le prix actuel de l'énergie, mais quel sera-t-il dans 20 ans, alors que l'élément de construction.

V.3.2. L'économie sur l'investissement

Le cout de l'investissement joue un rôle primordial dans l'équation de la construction des bâtiments, donc on cherche à minimiser le cout de l'investissement avec une construction économique plus performant, pour cela on fait une étude sur la valeur ajouté de feuille de polystyrène pour différents parois.

Les tableaux suivants donnent le coefficient de transmission thermique des parois et le coût d'investissement en fonction de l'épaisseur des panneaux de polystyrène :

M.D.C		le polystyrène			(M.D.C +polystyrène)		Le cout d'investissement
K (W/m².°C)	R m².C/W	l'épaisseur (m)	λ (W/m.°C)	R (m².C/W)	R (m².C/W)	K (W/m².°C)	Le surcoût (DA/m²)
1,3	0,764	0,005	0,028	0,17857143	0,94257143	1,06092755	1600
1,3	0,764	0,01	0,028	0,35714286	1,12114286	0,89194699	1700
1,3	0,764	0,015	0,028	0,53571429	1,29971429	0,76939987	1800
1,3	0,764	0,02	0,028	0,71428571	1,47828571	0,67645922	1900
1,3	0,764	0,025	0,028	0,89285714	1,65685714	0,60355234	2000
1,3	0,764	0,03	0,028	1,07142857	1,83542857	0,54483188	2100
1,3	0,764	0,035	0,028	1,25	2,014	0,49652433	2200
1,3	0,764	0,04	0,028	1,42857143	2,19257143	0,45608548	2300
1,3	0,764	0,045	0,028	1,60714286	2,37114286	0,42173756	2400
1,3	0,764	0,05	0,028	1,78571429	2,54971429	0,39220081	2500
1,3	0,764	0,055	0,028	1,96428571	2,72828571	0,36653053	2600
1,3	0,764	0,06	0,028	2,14285714	2,90685714	0,34401415	2700
1,3	0,764	0,065	0,028	2,32142857	3,08542857	0,32410408	2800
1,3	0,764	0,07	0,028	2,5	3,264	0,30637255	2900
1,3	0,764	0,075	0,028	2,67857143	3,44257143	0,29048054	3000
1,3	0,764	0,08	0,028	2,85714286	3,62114286	0,27615591	3100
1,3	0,764	0,085	0,028	3,03571429	3,79971429	0,26317768	3200
1,3	0,764	0,09	0,028	3,21428571	3,97828571	0,25136455	3300
1,3	0,764	0,095	0,028	3,39285714	4,15685714	0,24056636	3400
1,3	0,764	0,1	0,028	3,57142857	4,33542857	0,2306577	3500

Tableau V.1. Coefficient de transmission thermique de la paroi (M.D.C), et l'investissement en fonction de l'épaisseur de polystyrène

M.S.C		polystyrène		(M.S.C + polystyrène)		le cout d'investissement
R (m².°C/W)	K (W/m².°C)	l'épaisseur (m)	R (m².°C/W)	R (m².C/W)	K (W/m². °C)	Le surcoût (DA/m²)
0,468	2,13	0,005	0,17857143	0,64657143	1,54661953	1600
0,468	2,13	0,01	0,35714286	0,82514286	1,21191136	1700
0,468	2,13	0,015	0,53571429	1,00371429	0,99629946	1800
0,468	2,13	0,02	0,71428571	1,18228571	0,84581924	1900
0,468	2,13	0,025	0,89285714	1,36085714	0,73483099	2000
0,468	2,13	0,03	1,07142857	1,53942857	0,64959169	2100
0,468	2,13	0,035	1,25	1,718	0,58207218	2200
0,468	2,13	0,04	1,42857143	1,89657143	0,52726725	2300
0,468	2,13	0,045	1,60714286	2,07514286	0,48189453	2400
0,468	2,13	0,05	1,78571429	2,25371429	0,44371197	2500
0,468	2,13	0,055	1,96428571	2,43228571	0,41113591	2600
0,468	2,13	0,06	2,14285714	2,61085714	0,38301598	2700
0,468	2,13	0,065	2,32142857	2,78942857	0,35849636	2800
0,468	2,13	0,07	2,5	2,968	0,33692722	2900
0,468	2,13	0,075	2,67857143	3,14657143	0,31780623	3000
0,468	2,13	0,08	2,85714286	3,32514286	0,30073896	3100
0,468	2,13	0,085	3,03571429	3,50371429	0,2854114	3200
0,468	2,13	0,09	3,21428571	3,68228571	0,27157045	3300
0,468	2,13	0,095	3,39285714	3,86085714	0,25900984	3400
0,468	2,13	0,1	3,57142857	4,03942857	0,24755977	3500

Tableau. V.2 Coefficient de transmission thermique de la paroi (M.S.C) et investissement en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène

M.S.C		polystyrène		(Dalle +polystyrène)		le cout d'investissement
R (m².C/W)	K (W/m². °C)	l'épaisseur (m)	R (m².C/W)	R (m².C/W)	K (W/m². °C)	Le surcoût (DA)
0,336	2,037	0,005	0,17857143	0,51457143	1,9433648	1600
0,336	2,037	0,01	0,35714286	0,69314286	1,44270404	1700
0,336	2,037	0,015	0,53571429	0,87171429	1,14716486	1800
0,336	2,037	0,02	0,71428571	1,05028571	0,95212187	1900
0,336	2,037	0,025	0,89285714	1,22885714	0,81376424	2000
0,336	2,037	0,03	1,07142857	1,40742857	0,71051563	2100
0,336	2,037	0,035	1,25	1,586	0,63051702	2200
0,336	2,037	0,04	1,42857143	1,76457143	0,56670984	2300
0,336	2,037	0,045	1,60714286	1,94314286	0,5146302	2400
0,336	2,037	0,05	1,78571429	2,12171429	0,47131699	2500
0,336	2,037	0,055	1,96428571	2,30028571	0,43472861	2600
0,336	2,037	0,06	2,14285714	2,47885714	0,40341171	2700
0,336	2,037	0,065	2,32142857	2,65742857	0,37630362	2800
0,336	2,037	0,07	2,5	2,836	0,35260931	2900
0,336	2,037	0,075	2,67857143	3,01457143	0,33172211	3000
0,336	2,037	0,08	2,85714286	3,19314286	0,31317108	3100
0,336	2,037	0,085	3,03571429	3,37171429	0,29658504	3200
0,336	2,037	0,09	3,21428571	3,55028571	0,28166747	3300
0,336	2,037	0,095	3,39285714	3,72885714	0,26817868	3400
0,336	2,037	0,1	3,57142857	3,90742857	0,25592278	3500

Tableau. V.3. Coefficient de transmission thermique de la paroi (dalle) et investissement en fonction de l'épaisseur de polystyrène.

V.3.3. L'économie à travers les parois opaques

En incluant le facteur coût dans nos.que le choix du polystyrène comme isolant est généralement justifié. En effet pour obtenir un coefficient K compris entre 0,5et 1 W/m² °C l'investissement se trouve entre 1850 et 2400 DA. Le critère environnement n'est pas très pertinent puisqu'on a choisi un système d'isolation par l'extérieur. Pour une meilleure isolation à un faible coût, il sera plus rentable dans les limites de l'épaisseur de polystyrène. Une estimation simpliste du gain de flux par conduction à travers les parois opaques dû à
L'isolation par 5cm de polystyrène.

Le tableau ci-dessous représente un résumé d'économie d'énergie à travers les parois opaque par unité de surface :

La période hivernale 3 mois et ($\Delta T = 19°C$)				
Le flux calcul par La formule : $\Phi = K \times S \times \Delta T$				
Types de parois	Le flux Sans isolation F1(W)	Le flux avec isolation F2 (W)	Le gain de chaleur (F1- F2) (W)	Le gain annuel $8h \times 5j \times 12 = 480h/année$ (kWh)
M.D.C	$1{,}30 \times 19 = 24{,}7$	$0{,}46 \times 19 = 8{,}74$	$24{,}7 - 8{,}74 = 15{,}96$	7,66
M.S.C	$2{,}13 \times 19 = 40{,}74$	$0{,}52 \times 19 = 9{,}88$	$40{,}74 - 9{,}88 = 30{,}86$	14,81
Dalle	$2{,}037 \times 19 = 39{,}38$	$0{,}57 \times 19 = 10{,}83$	$39{,}38 - 10{,}83 = 28{,}55$	13,70
Poteaux	$2{,}90 \times 19 = 55{,}10$	$0{,}56 \times 19 = 10{,}64$	$55{,}10 - 10{,}64 = 44{,}46$	21,34

Tableau. V.4. résumé d'économie d'énergie à travers les parois opaque en hiver.

La période estivale 3 mois ($\Delta T = 13°C$)				
Le flux calcul par La formule : $\Phi = 1{,}2 \times K_{été} \times S \times \Delta T$				
Types de parois	Le flux Sans isolation F1(W)	Le flux avec isolation F2 (W)	Le gain de chaleur (F1- F2) (W)	Le gain annuel $8h \times 5j \times 12s = 480h/année$ (kWh)
M.D.C	$1{,}2 \times 1{,}36 \times 13 = 21{,}61$	$1{,}2 \times 0{,}40 \times 13 = 6{,}24$	$(21{,}61 - 6{,}24) = 15{,}37$	7,37
M.S.C	$1{,}2 \times 2{,}28 \times 13 = 35{,}56$	$1{,}2 \times 0{,}35 \times 13 = 5{,}46$	$(35{,}56 - 9{,}88) = 30{,}10$	14,44
Dalle	$1{,}2 \times 2{,}60 \times 13 = 40{,}56$	$1{,}2 \times 0{,}46 \times 13 = 7{,}17$	$39{,}38 - 7{,}17 = 33{,}39$	16,02
Poteaux	$1{,}2 \times 2{,}56 \times 13 = 39{,}93$	$1{,}2 \times 0{,}47 \times 13 = 7{,}33$	$39{,}93 - 10{,}64 = 32{,}59$	15,64

Tableau. V.5. résumé d'économie d'énergie à travers les parois opaque en été

V.3.4. L'économie à travers les parois vitrées

Les vitrages constituent les surfaces les plus perméables à l'énergie thermique et comme il n'est pas question de les supprimer ni d'en réduire les dimensions dans des proportions très importantes, il faut isoler. En construction neuve, le vitrage isolant constitue la mesure la plus efficace, avec l'étanchéité pour minimiser les charges de climatisation, Il existe plusieurs types de vitrage isolant. Notre choix sera dicté par le facteur solaire, le facteur lumineux, le coefficient de transmission et la disponibilité sur le marché de la sous région. Dans la gamme de produit trouvés sur le marché, le double vitrage avec une lame d'air de 6cm avec K= 3,1 W/m². °C et un facteur lumineux de 20% répond le mieux à nos critères de choix. Comparé au coefficient de transmission des vitrages simples 5,8 W/m² °C on voit nettement la nécessité d'adopter le double vitrage. Malgré l'existence des matériaux plus performent (vitrage réfléchissante) ; mais leur prix est trop cher

V.4. Economie d'énergie sur l'éclairage

La lumière est une notion subjective associée à la perception par l'œil humain du rayonnement électromagnétique de longueur d'ondes comprises entre 0.38 et 0.76 microns. En effet l'œil humain est aveugle pour le reste du rayonnement électromagnétique. La lumière est un besoin vital pour l'homme, elle participe au confort visuel. La lumière est indispensable pour tous les travaux que l'homme effectue, elle permet d'augmenter la productivité, car il a été démontré par des spécialistes du monde du travail que l'éclairage joue un rôle important sur la productivité.

Ainsi l'éclairage occupe une part importante de la consommation en énergie des bâtiments administratifs. Dans les zones ensoleillées, la combinaison de l'éclairage artificiel bien étudié avec des lampes fluorescentes et la lumière solaire permettront d'atteindre des facteurs de réduction sur la consommation. C'est pourquoi dans un cadre de projet d'éclairage, il faut tenir compte de la disponibilité de la lumière naturelle. Une bonne exploitation de cette dernière nous permettra de réaliser des économies d'énergie non négligeables.

V.4.1. Eclairage électrique [10]

Ainsi, après avoir étudié l'éclairage naturel; nous allons nous attaquer à l'éclairage électrique ce qui nous permettra de pouvoir estimer l'apport de l'éclairage naturel en terme d'économie d'énergie.

L'éclairage électrique est indispensable pour le confort des usagés dans les bâtiments; car l'éclairage naturel est insuffisant à lui seul pour satisfaire les besoins en confort visuel.

Pour le calcul de l'éclairage électrique nous allons utiliser deux types de lampes (lampes à incandescences et les lampes tubulaires fluorescentes).Ces lampes seront choisies en fonction de leurs caractéristiques, que sont, la puissance, le prix, la durée de vie et aussi leur efficacité lumineuse. Ainsi nous avons les types de lampes suivantes.

a) Les lampes à incandescences

Constituées d'un filament en tungstène qui est chauffé à blanc dans une ampoule remplie de gaz rare, (argon, quelquefois même du krypton) ce gaz permet de réduire l'échauffement du filament. Les lampes à incandescence ont l'avantage d'avoir un prix très faible, cependant leur durée de vie très faible est de l'ordre 1000 heures, Et aussi ces lampes ne supportent pas les variations de tension, qui diminuent considérablement leurs durée de vie, Elles ont une efficacité lumineuse très faible qui est de l'ordre de 10 à 20 lm/W.

Ces lampes sont alimentées sous une tension de 220 Volt et les puissances disponibles sont: 40, 60, 75, 100, 150, 200,300 W.

Les lampes à incandescences sont utilisées surtout dans l'éclairage domestique, du fait de leur facilité d'emploi et de leur prix faible, mais aussi dans certains bâtiments administratifs.

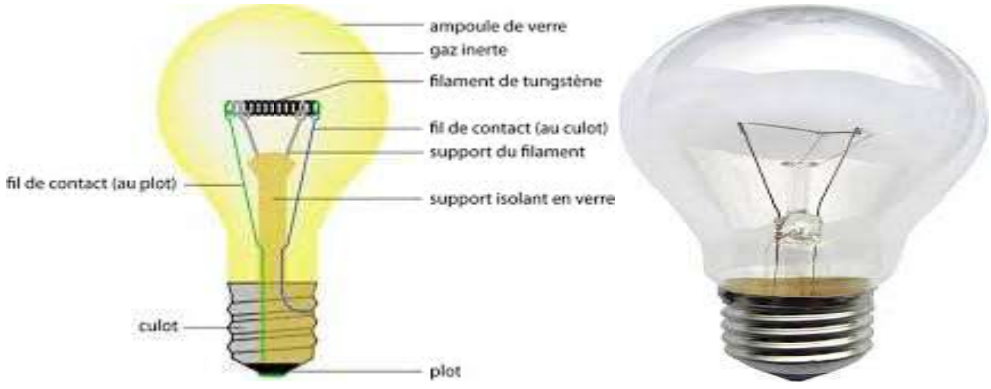


Figure .V.5. Les lampes à incandescences.

b) Les lampes aux halogènes

Ces lampes sont une variété des lampes à incandescences la différence réside dans la composition du gaz rare qui remplit l'ampoule, En plus du gaz rare l'ampoule contient une petite quantité d'un halogène (vapeur d'iode). Quand le filament en tungstène est chauffé par le courant électrique, une petite quantité de ce tungstène s'évapore et crée cette vapeur d'iode.

Ce qui provoque une réaction dans la partie la plus froide de la lampe pour donner de l'iodure de tungstène qui reste à l'état de vapeur. Comme le filament en tungstène a une température très élevée, l'iodure de tungstène se décompose à nouveau sur celui-ci pour reformer le tungstène et l'iode. Le cycle se poursuit ainsi de suite tant que la lampe est allumée. Le rendement d'une lampe halogène est deux fois plus élevé, et sa durée de vie est 5 fois plus longue qu'une lampe à incandescence. L'avantage de ce type de lampe se caractérise par une lumière très vive et très brillante, la brillance ne varie quasiment pas durant sa vie, Ces lampes sont surtout utilisées comme des projecteurs.

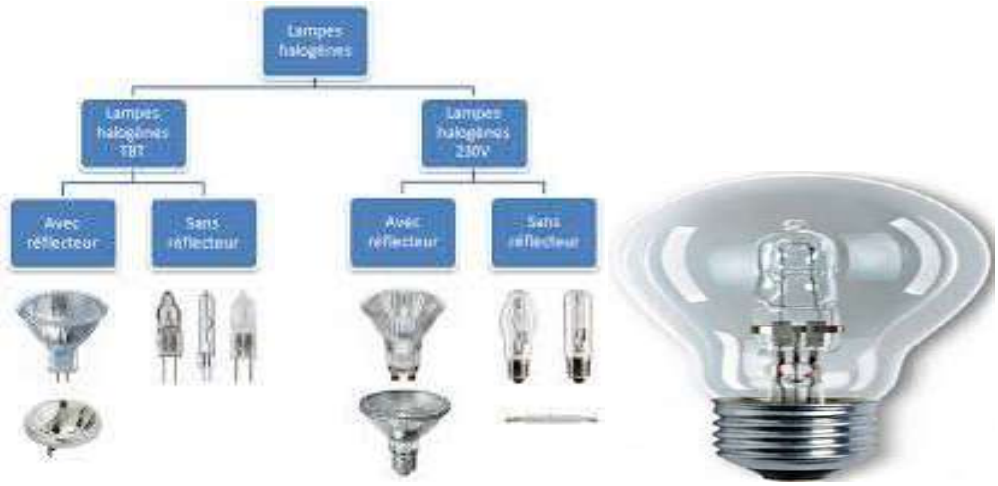


Figure. V.6. Les lampe Duo compactes

c) Les lampes fluo compactes

Sont encore appelées lampes d'économie d'énergie grâce à leur faible puissance. Ces lampes ont le même domaine d'application que les lampes à incandescences courantes. Cependant ces lampes ont un prix élevé par rapport aux lampes à incandescence courantes; d'où la nécessité de faire une étude comparative qualité prix avant toute utilisation de ces lampes. Elles ont aussi une durée de vie qui est de l'ordre de 3 à 5 fois que celle de lampes à incandescence; le rendu de couleur de ces lampes est très bon. Cependant ces lampes ne supportent les allumages très rapprochés c'est-à dire les éteindre et les rallumer tout juste après; il leur faut au moins un temps de battement de deux minutes environs, Ces lampes atteignent leur puissance maximale lentement une minute à deux minutes environ ce qui fait que ces lampes ne sont pas utilisées dans les endroits où les passages risques d'être brefs. Les puissances les plus utilisées sont 7, 1l, 15, et 20 W.

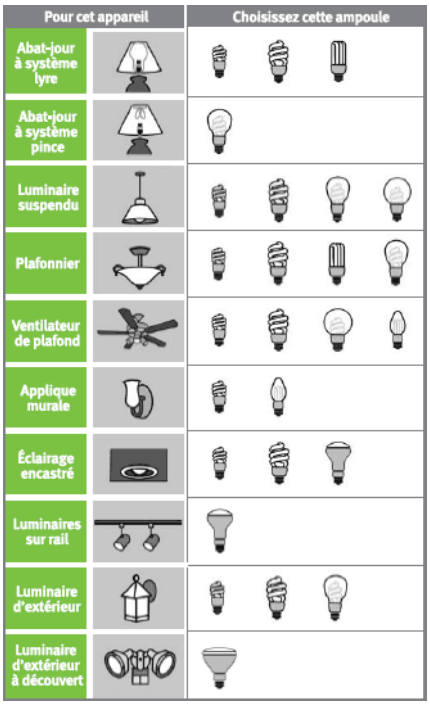




Figure. V.7. Les lampes fluo compactes.

Nous avons une certaine correspondance entre les lampes fluo compactes et celles à incandescence courantes :

Lampe fluo compacte P en (W)	Lampe à incandescence courante P en (W)
7	40
11	60
15	75
20	100

Tableau V.6. Correspondance entre les puissances d'une lampe fluo compacte et celle à incandescence [10].

d) Lampes tubulaires fluorescentes

Le principe de la fluorescence est simple, Il suffit de produire une décharge électrique dans un tube en verre qui contient de la vapeur de mercure à basse pression, ce qui provoque un phénomène de luminescence principalement dans l'ultra – violet donc faiblement visible. Ce phénomène est dû à une poudre électroluminescente recouvrant l'intérieur du tube de verre, celle-ci transforme ce rayonnement en lumière visible selon le principe de la fluorescence.

Ces lampes ne produisent qu'une très faible chaleur, c'est pour cela qu'elles consomment 5 fois moins d'énergie et durent jusqu'à 15 fois plus longtemps que les lampes à incandescence classique, Soixante dix pour cent (70 %) de la lumière artificielle utilisée dans le monde est générée par les tubes fluorescents. Les lampes fluorescentes ont la particularité d'avoir une très bonne efficacité lumineuse qui va souvent jusqu'à 80 lm / W et aussi une bonne durée de vie de 10 000 heures dans les bonnes conditions. Les principaux types de lampes fluorescentes sont les lampes de longueur 0,6 m pour une puissance de 18W (20 W) etc. celles de 1,2 m pour une puissance de 36W (40W).

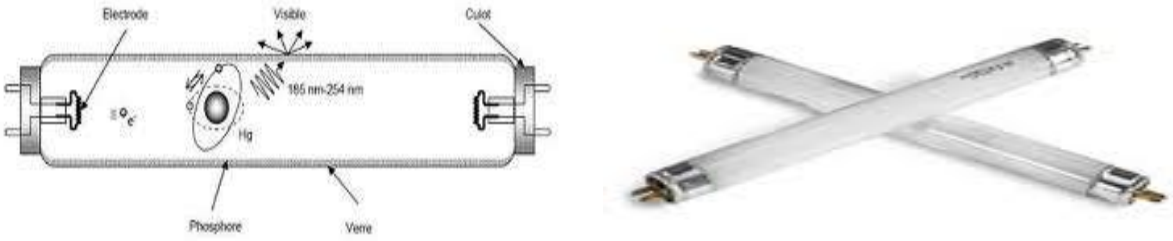


Figure. V.8. Lampes tubulaires fluorescentes.

V.4.2. L'éclairage naturel

Grâce au soleil nous avons de la lumière naturelle tout au long de la journée, cette quantité et suffisante sur le plan horizontal à l'extérieur, Le soleil est la principale source d'éclairage naturel. En effet bien que la lumière provenant des étoiles soit perceptible, elle est insuffisante pour nous permettre sous leur seul éclairement, de distinguer les contours et les caractéristiques des objets, La lumière provenant des planètes est parfois suffisante pour l'ombre, c'est-à-dire créer une différence perceptible entre les faces éclairées directement et les autres. Ainsi avec le tableau (V. 2), nous montrons les éclairements de certaines sources de rayonnement.

Conditions	Eclairement horizontal en lux
Nuit sans lune	Environ 1/3000
Nuit en pleine lune	0,2
Brouillard (visibilité 500 m)	4000
Temps couvert, épais nuages	5000
Ciel couvert, nuages blancs	20000
Beau temps plein soleil	100000
Beau temps, soleil et nuages	50000

Tableau V. 7. Éclairement naturelle [10]

Comme le montre le tableau **(V.7)**, la lumière du jour est fonction principalement du soleil mais aussi du type de ciel; soit le ciel est couvert ou le ciel est serein.

a) Disponibilité de la lumière du jour

Le soleil étant la principale source de lumière naturelle, la distribution de cette lumière dépend du type de ciel: couvert ou serein (clair), la couler et la position de vitrage.Pour rappelé le ciel est dit serein; tel que la luminance d'un point soit le produit d'une fonction dépendant de son éloignement au soleil. D'une autre fonction dépendant de sa hauteur au dessus de l'horizon.

b) Eclairage électrique en apport à l'éclairage naturel

L'éclairage électrique a pour fonction principale de servir d'appoint à l'éclairage naturel lorsque celui-ci est insuffisant. Ainsi pour tenir compte de l'éclairage naturel, nous utiliserons les trois quarts du flux lumineux apporté par la lumière du jour dans le local. Pour éviter le cas ou des rideaux ou des voilages seront mis en place dans le local. Ce qui nous permettra d'avoir un niveau d'éclairement répondant aux besoins dans les cas les plus défavorables souvent (exception faite des mauvais temps: pluie, orage). Nous ne faisons pas une combinaison de l'éclairage électrique et naturel au niveau des locaux du sous sol. Pour la simple raison que l'apport en éclairage naturel est faible au niveau du sous sol. Si on combine les deux types en bénéficie soit :

- ***La diminution de l'investissement***

En considérant la lumière du jour dans le calcul de l'éclairage des locaux, nous réalisons des économies sur l'investissement. Cette économie est réalisée sur le nombre de lampes.

- ***L'économie sur la consommation d'énergie***

En tenant compte des facteurs d'utilisation que nous avons définie précédemment nous passons d'une consommation journalière de 3,30 kWh (journée de huit heures) avec les lampes à incandescence à une consommation de 0,66 kWh. Avec les lompes fluorissantes.
Enfin nous gagnons 2 ,64 kWh par jour. En effet si nous considérons les cinq jours de travail par semaines et que nous avons 52 semaines dans l'année, ce gain en énergie sera de 686,4kWh. Cependant il faudra tenir compte aussi des jours fériés qui sont au nombre de douze en Algerie, cette économie sera enfin de compte de 654,72 kWh.

Le prix moyen du kWh étant de (4DA), le montant de l'économie réalisée peut être chiffré à 2618,88 DA annuellement. Un autre gain un peu difficile à quantifier (financièrement) est réalisé sur la quantité de chaleur transmise par l'éclairage dans les locaux. Ce gain se répercute sur le bilan thermique, ce qui entraîne une baisse de la charge pour la climatisation, Cette charge peut être estime par la formule:

$$Q = M \times P \qquad (V, 44)$$

Avec :

M : coefficient de correction il est fonction du type de luminaire, de l'installation (encastré ou non encastré) et de la durée de fonctionnement de l'éclairage,

P : la puissance de l'éclairage en Watt.

Pour notre cas: M =0,76

D'où Q= 57 W, pour chaque lompe par jour. Ce qui n'est pas négligeable en termes de charge thermique pour le bâtiment.

V.5. Etude environnementale

V.5.1. Analyse énergétique et environnementale

L'évaluation et l'analyse des flux énergétiques d'un bâtiment et de ses impacts sur l'environnement nécessitent l'usage de méthodes rigoureuses afin de donner un sens et de fixer des limites aux résultats obtenus. Des outils de calcul spécifiques, adaptés aux niveaux de précision et d'analyse souhaités, mettent en œuvre ces méthodes et facilitent leur application.

a) La protection de la planète

Les initiatives en matière énergétique dans le secteur de la construction, et l'isolation en particulier, sont une des façons les moins onéreuses pour réduire les émissions de dioxyde de carbone dans le neuf et dans l'existant. L'isolation thermique permet, en réduisant la consommation de chauffage, de diminuer les émissions de polluants atmosphériques:

- oxyde de soufre responsable des pluies acides ;
- oxyde d'azote source de pics d'ozone;
- dioxyde de carbone, principal responsable de l'effet de serre.

L'isolation thermique est la solution durable contre la pollution atmosphérique. L'énergie consommée lors de la fabrication de polystyrène est compensée par l'économie d'énergie réalisée pendant un mois de chauffage. Des calculs effectués sur une période de 50 ans prouvent que l'énergie économisée représente jusqu'à 100 fois celle qui a été nécessaire à la fabrication de l'isolant.

b) La protection de l'environnement

Le développement durable est une réponse à la remise en cause d'une croissance économique se faisant au détriment de l'homme et de son environnement. Agir en faveur du développement durable a pour objectif de préserver la planète pour les générations futures et maîtriser les consommations d'énergie, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, est une des façons d'y participer. Or le bâtiment est le premier secteur consommateur d'énergie, bien devant les transports et l'industrie.

c) La réchauffe la planète

L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet d'avoir sur Terre une température permettant d'y vivre. Il est dû à la présence de certains gaz dits "à effet de serre" dans l'atmosphère, dont les quantités sont augmentées par les activités humaines, ce qui perturbe très gravement le climat de la planète.

- La climatisation intervient à double titre dans les émissions de gaz à effet de serre :
- quand elle fonctionne, elle provoque une surconsommation de carburant et donc des émissions de CO2 accrues (2 à 5 % de CO2 émis en plus par an) ;
- qu'elle fonctionne ou pas, elle rejette une partie du fluide frigorigène (R134a) présent dans le circuit de climatisation (fuites, maintenance, entretien, accident, non-récupération du fluide en fin de vie du véhicule…). Ce fluide est un gaz à fort potentiel d'effet de serre, 1 300 fois plus puissant que le CO2.

d) La détérioration de la couche d'ozone

Est lié à l'utilisation de fluides frigorigènes de type HCFC (Hydro chlorofluorocarbures) ou CFC (Chlorofluorocarbures) qui contiennent des substances chlorées. Le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP – Ozone Déplétion Potentiel) des HCFC et des CFC a été établi en prenant le fluide « CFC 11 » comme référence (ODP = 1). Le règlement n° 2037/2000 du Parlement européen et du Conseil du 29 juin 2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

Ce même règlement interdit l'utilisation des CFC. En ce qui concerne les HCFC, leur utilisation sera partiellement interdite à partir du 1er janvier 2010 (HCFC neufs) et totalement interdite à partir du 1er janvier 2015

e) Impact sur l'effet de serre

L'impact sur l'effet de serre est lié à deux sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre La première est la consommation en énergie primaire nécessaire pour faire fonctionner la climatisation (électrique, gaz), la seconde est le type de fluide frigorigène utilisé dans le circuit fermé de la pompe à chaleur. Afin de pouvoir déterminer l'importance de ces émissions, la norme EN 378 (Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement) définit l'indice « TEWI » (Total Equivalent Warning Impact). Le TEWI est défini comme étant la somme de l'incidence directe des émissions de fluides frigorigènes et de l'incidence indirecte des émissions de CO_2 (dues à l'énergie primaire utilisée pour le fonctionnement de la pompe à chaleur).

Les émissions de CO_2 liées à l'utilisation d'une pompe à chaleur proviennent essentiellement de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur. Si cette énergie est produite à partir d'une source d'énergie renouvelable (par exemple des panneaux photovoltaïques pour une pompe à chaleur électrique), il est possible de réduire considérablement l'impact d'une pompe à chaleur sur l'environnement.

V.6. Conclusion

La consommation d'énergie dans le secteur de bâtiment est importante, surtout si on veut améliorer le confort. Alors, il nous faut chercher d'autre solution pour réduction de cette consommation énergétique. Parmi ces solution est de choisir un isolant à mettre afin de réduire la quantité de flux de chaleur, qui nous donne une amélioration dans la facteur et surtout sur l'élimination de la pollution crée par les systèmes de climatisation et de chauffage.

Le but recherché dans l'élaboration de ce projet était de montrer l'importance de faire une étude économique sur l'enveloppe et l'éclairage d'un bloc administratif du centre hydraulique de la Wilaya de Médéa. La procédure consistait à utiliser les techniques simplifiées de calcul en climatisation et montrer par des exemples précis comment minimiser les charges thermiques de l'immeuble (l'isolation, le vitrage et l'éclairage).

L'étude sur les parois standards et celles isolées a montré que, le fait de choisir un bon isolant (polystyrène par exemple), permet de réduire fortement les charges thermiques. Le choix de double vitrage au profit du simple vitrage est aussi conseillé d'autant plus que le simple vitrage laisse passer le quasi totalité du flux solaire.

L'étude économique de l'éclairage économique a montré son importance en minimisant le nombre de lampes nécessaires, mais aussi en réduisant la puissance installée et donc la facture d'électricité, Le respect des propositions énoncées et l'utilisation des résultats trouvés permettront, avec une étude détaillée des charges interne et externe, de déterminer la puissance optimale de l'appareil à installer.

Par ailleurs, cette étude nous a conduits de ressortir que l'utilisation de l'isolation et la l'éclairage économique, nous permet d'économiser de l'énergie ainsi que la diminution de la pollution et l'effet de serre sur l'environnement.

Enfin, pour plus de fiabilité et d'économie, nous recommandons d'ici aux futurs travaux de prendre en considération ces quelques points :

- Etudier l'effet de la clarté des couleurs utilisées dans les bâtiments ;
- Faire une comparaison entre différents isolants en termes de coût et d'efficacité ;
- Recourir le plus possible aux fluides frigorigènes naturels et de remplacement pour préserver l'environnement.

.

[1] (D.T.R. C 3-2), Document Technique Réglementaire « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation », Règle des déperditions calorifiques, Fascicule 1. Année 2005

[2] Cours de 2ème année Génie Climatique, module : « Thermique du bâtiment », Enseignant : CHIBA Younes, Université de Médéa, année universitaire : 2010/2011.

[2 bis] ALLALI Mohamed et SEBTI Abd elrahman «étude comparatif de l'isolation d'un entrepôt des volailles construction construit avec des matériaux différents » année 2007/2008 pp 116

[3] YAHIMI Brahim et DEGHICHE Kamel, « Détermination des besoins énergétique de chauffage et de climatisation d'un immeuble de l'hôpital de Tablat » Mémoire de Master Energie et Froid Industriel, Université de Médéa, Promotion 2012/2013.

[4] ALINE Branders et ARNAUD Evrard, « Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en brique pleines », Guide d'aide à la conception, Université catholique de Louvain, Avril 2011.

[5] NICOLAS Morel et EDGARD Gnansounou, « Energétique du bâtiment », Section de Génie Civil, 4ème/5ème année, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Edition : septembre 2009.

[6] Cours de 2ème année Master Energie et Froid Industriel, Module : « Confort thermique », Enseignant : BENTCHIKOU Mohamed, Université de Médéa, Année universitaire : 2013/2014.

[7] http : //www.toutsurlisolation.com (mise à jour : 19/10/2012).

[8] JANNOT Yves, Cours 2ème année Transferts thermiques, Ecole des Mines de Nancy, 2011.

[9] (D.T.R. C 3-4), Document Technique Réglementaire « Règle de calcul des apports calorifique des bâtiments », Fascicule 2.Année 2005

[10] DIEYE Ousmane et SOW Ousmane, « Économie d'énergie pour un bâtiment administratif: étude sur l'enveloppe et l'éclairage », Université Cheikh Anta Diop, Ecole Supérieure Polytechnique, Sénégal, Promotion : 2004/2005.

A.1. Tableau du rayonnement de base

Rayonnement totale de base I_{tb} et diffus de base I_{db}										
Latitude nord	mois	ORIENTAION								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz
20°	Juillet	59	435	514	267	44	267	514	435	791
	Aout	34	372	520	356	81	356	520	372	788
	septembre	31	273	514	441	205	441	514	273	733
30°	Juillet	50	413	516	315	94	315	516	413	776
	Aout	34	240	520	406	198	406	520	340	741
	septembre	28	284	489	479	330	479	498	284	668
40°	Juillet	47	400	516	394	217	394	516	400	734
	Aout	34	321	511	459	321	459	511	321	675
	septembre	28	183	470	511	441	511	470	183	577

A.2.tableau de la température de base intérieur

ZONNE	**Altitude (m)**	**Tbe (°C)**	**ZONNE**	**Altitude (m)**	**Tbe (°C)**
A	<300 300 à 500 500 à1000 >1000	6 3 1 -1	C	500à1000 >1000	-2 -4
B	<500 500 à1000 >1000	2 1 -1	D	<1000 >1000	5 4
B’	<500 >500	Voir zonne	D’	<1000	5

A.3.tableau les coefficients K_{vn} des vitrages

Type de vitrage	**lame d’air (mm)**	**Nature de la cadre**	**menuiserie**	**Paroi verticale**
Vitrage simple	--	Bois métal	5 ,0 5,8	5,5 6,5
Double vitrage	5 à 7	Bois métal	3,3 4,0	3,5 4,3
	8à9	Bois métal	3,1 3,9	3,3 4,2
	10 à 11	Bois métal	3,0 3,8	3,2 4,1
	12 à 13	Bois métal	2,9 3,7	3,1 4,0
Double fenêtre	PLUS DE 30	Bois métal	2 ,6 3,0	2,7 3,2

A.4. tableau les valeurs des coefficients d'échange superficiel en hiver.

1/h	Paroi en contacte avec : ➢ L'extérieur. ➢ Un passage ouvert. ➢ Un local ouvert.			Paroi en contacte avec : ➢ Un autre local, conditionnée ou non conditionnée. ➢ Un comble. ➢ Un vide sanitaire.		
	1/hi	1/he	1/hi+1/he	1/hi	1/he	1/hi+1/he
Latérale Mur $\alpha > 60°$	0.10	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Toiture $\alpha < 60°$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
plancher	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

A.5 .tableau les valeurs des coefficients d'échange superficiel en été.

1/h	Paroi en contacte avec : ➢ L'extérieur ➢ Un passage ouvert ➢ Un local ouvert			Paroi en contacte avec : ➢ Un autre local, conditionnée ou non conditionnée. ➢ Un comble. ➢ Un vide sanitaire.		
	1/hi	1/he	1/hi+1/he	1/hi	1/he	1/hi+1/he
Latérale Mur $\alpha > 60°$	0.10	0,04	0,14	0,10	0,11	0,21
Toiture $\alpha < 60°$	0,16	0,04	0,20	0,16	0,17	0,33
plancher	0,08	0,04	0,12	0,08	0,09	0,017

A.6.Tableau coefficients de simultanéité des gains interne

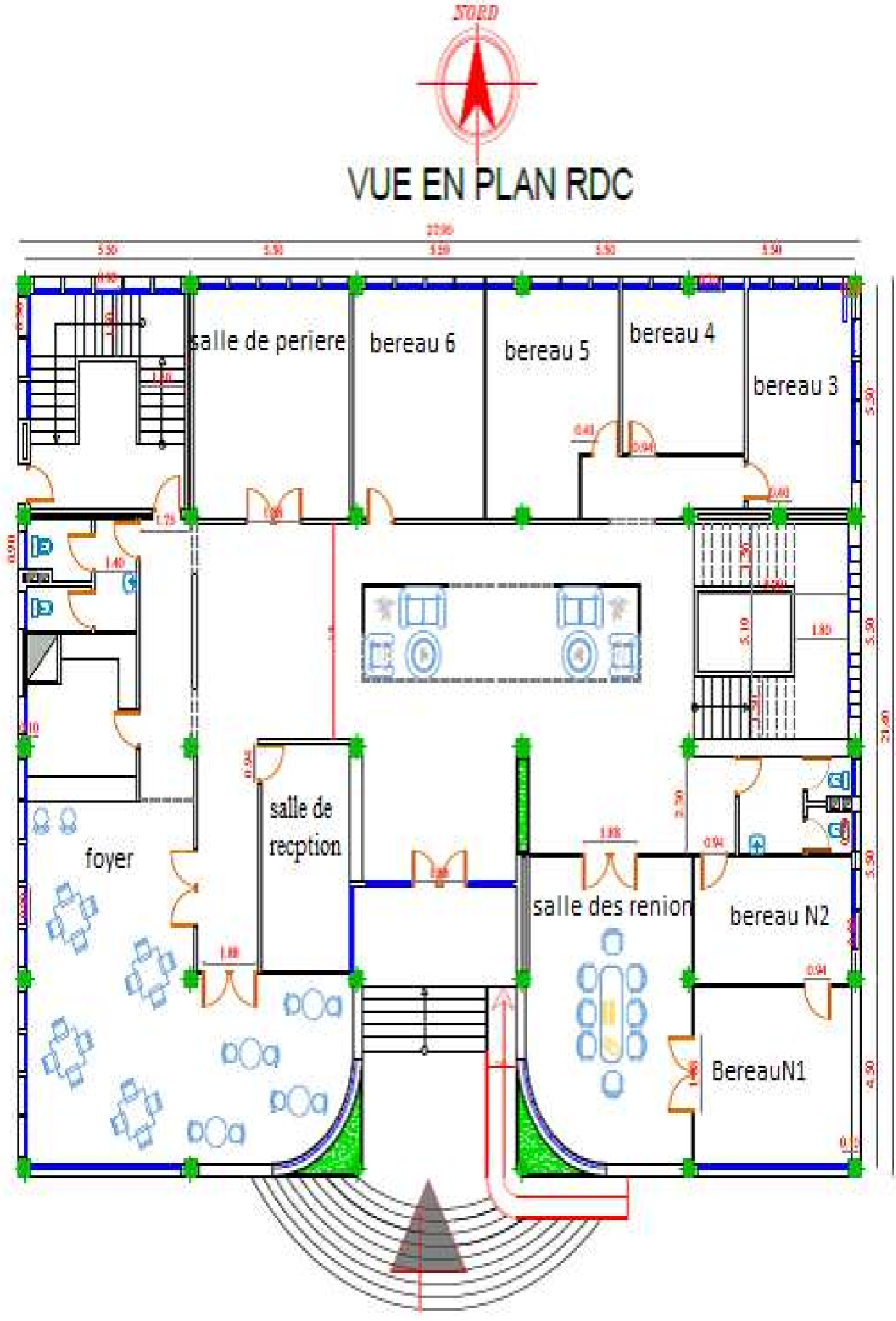
Apport	Nature des apports	Coefficient de simultanéité Cs
		Locaux
		Bureaux Réunions Accueil
Occupent	Sensible latente	0,80 0,80
Eclairage	Sensible latente	0,70 ---

A.7. tableau les gains interne dus aux occupants

Degré d'activité	Exemple d'application	Température sèche du local (°C)				
		28	27	26	24	21
		Apports sensible (Sen) et latents(lat.) en W/pers.				
		Sen. lat.	Sen. lat.	Sen. lat.	Sen. lat.	Sen. lat.
Assis, travail Très liéger	Bureaux	52 79	58 73	63 69	71 60	83 49

A.8. Tableau les gains interne dus à la machine de bureaux

Appareils.	Gains à admettre (en W)		
	Sen	Lat.	Total
Micro-ordinateur.	450	-----	450
impriment	376	-----	376


NORD
VUE EN PLAN RDC
salle de periere
bereau 6
bereau 5
bereau 4
bereau 3
salle de reception
foyer
salle des renion
bereau N2
BereauN1