



Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Thème :

**Calcul des déperditions thermiques d'un logement
selon le DTR C3.2**

Réalisé par :

BEKKOUR Kenza

ANCER Hadjer

Proposé et dirigé par :

Mme A.CHIKH

Juillet 2013

Résumé

Le présent mémoire porte sur l'étude des déperditions d'un logement d'un bâtiment implanté à Draria.

Notre travail s'est basé sur le calcul de la puissance de chauffage, et cela pour trois variantes de matériaux isolants utilisés dans les parois, les dalles et le vitrage.

Le calcul des déperditions sera fait en se référant au DTR C 3.2.

Mots clés

Isolation, déperdition, puissance chauffage, matériaux isolants.

المخلص

تركزت هذه الأطروحة على دراسة هدر الطاقة لمسكن يقع في درارية .

ويستند عملنا على حساب الطاقة للتدفئة، لثلاثة أنواع من مواد العزل المستخدمة في الجدران والبلاط والزجاج المزدوج.

حساب الهدر تم باستعمال القانون DTR C 3.2

كلمات سمفثاحية

العزلة، فقدان الطاقة، تدفئة كهربائية، ومواد العزل.

Abstract

This thesis focuses on the study of the loss of energy of a home in building located in Draria.

Our work is based on the calculation of the heating power, for three variants of insulating materials used in the walls and glazed tiles.

The calculation of losses will be made by referring to the DTR C 3.2.

Key words

Isolation, loss, power heating, insulation materials.

Table des matières

Introduction générale	2
Chapitre 1. Notions de base	
I- Isolation	5
I.1-Isolation des murs extérieurs	5
II- Modes de transfert de chaleur	6
II.1 – Conduction	6
II.2 – Convection	6
II.3 - Rayonnement	7
III- Déperditions thermiques	8
IV- Résistance thermique	9
V- Coefficient de transmission surfacique	9
VI- Déperditions calorifiques	9
VII- Inertie thermique	10
VIII- Habitation passive et habitation active	10
IX- Constante de temps d'un bâtiment	11
X- Puissance de chauffage	11
XI- Isolation des toitures	12
XI.1- Avantages de l'isolation thermique de la toiture	12
XI.2- Procédés d'isolation des toitures terrasses	12
XII- Qualité des isolants thermiques	12
Chapitre 2. Les isolants	
I- Introduction	15
II- Les isolants	15
II-1. Le vitrage	15
II-2. Les matériaux	16
II-2-1. Différents matériaux	17
II-2-2. Avantages et inconvénients	21
Chapitre 3. Application du DTR C3.2	
I- Introduction	24
II- Déperditions totales d'un volume	24
III- Déperditions par transmission d'un volume	25
III.1 - Calcul de la conductance K	25
III.1.1 - Première variante	25
III.1.2 - Deuxième variante	29

III.1.3 - Troisième variante	31
III.2 - Déperdition surfacique par transmission à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur	33
III.3 - Déperditions à travers les parois en contact avec le sol	34
III.4 - Déperditions à travers les liaisons	34
III.5 - Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ..	35
IV- Déperditions par renouvellement d'air d'un volume	36
IV.1 - Calcul du débit spécifique de ventilation Q_v pour un logement	36
IV.2 - Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent Q_s pour un logement	37
V- Vérification réglementaire	38
VI- Calcul des déperditions de base	39
VI.1 - Exigence réglementaire	39
VI.2 - Déperditions de base totales	39
VI.3 - Déperditions de base pour un volume	39
VII- Puissance de chauffage à installer	39
Conclusion générale	42
Référence bibliographique	43

Liste des tableaux

Chapitre 2. Les isolants

Tab.2.1 – Avantages et inconvénients des matériaux isolants	07
---	----

Chapitre 3. Application du DTR C3.2

Tab.3.1 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur	25
Tab.3.2 – Calcul de la résistance d'un mur de façade	26
Tab.3.3 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation	26
Tab.3.4 – Calcul de la résistance de la retombé d'une poutre secondaire	26
Tab.3.5 – Calcul de la résistance de la retombé d'une poutre principale	27
Tab.3.6 – Calcul de la résistance d'un mur en béton armé	27
Tab.3.7 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation en béton armé	28
Tab.3.8 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur	29
Tab.3.9 – Calcul de la résistance d'un mur de façade	29
Tab.3.10 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation	30
Tab.3.11 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur	31
Tab.3.12 – Calcul de la résistance d'un mur de façade	31
Tab.3.13 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation	32
Tab.3.14 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 1 ^{ère} variante	33
Tab.3.15 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 2 ^{ème} variante	33
Tab.3.16 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 3 ^{ème} variante	34
Tab.3.17 – Calcul des déperditions surfacique vers les locaux non chauffés	35
Tab.3.18 – Calcul des déperditions à travers les liaisons	35
Tab.3.19 – Calcul des déperditions par transmission	36
Tab.3.20 - Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent	38
Tab.3.21 – Surface des parois en contact avec l'extérieur	38
Tab.3.22 – Calcul des déperditions de base	39
Tab.3.23 – Calcul de la puissance de chauffage	40

Introduction générale

Le secteur du bâtiment connaît, depuis quelques années, une forte expansion, notamment dans le secteur de l'habitat. Le parc de logement en Algérie ne cesse d'augmenter. Ce parc devrait connaître un développement encore plus rapide dans les années à venir étant donnée la nature démographique de la population.

Parallèlement à cette croissance du parc, le secteur connaît une profonde mutation du point de vue demande énergétique. En particulier, la consommation énergétique des ménages a connu une forte croissance, suite à l'amélioration du niveau de vie de la population.

Cette augmentation de la consommation s'est accompagnée également par une transformation de la structure de la consommation finale en faveur de certains usages dont notamment le chauffage et la climatisation.

Compte tenu de la forte croissance de l'activité du bâtiment et l'accroissement des consommations spécifiques dans ce secteur, plusieurs programmes pour réduire cette consommation ont été initiés en Algérie.

Pour limiter la consommation d'énergie et augmenter le confort thermique d'une habitation, de nombreux critères sont à prendre en compte. C'est à l'étape du projet qu'un maximum de mesures efficaces peut être pris. Parmi ces mesures, l'isolation thermique des parois extérieures étant la plus pertinente et constitue la base de toute action visant à réduire la consommation énergétique d'un logement.

Du point de vue confort thermique dans un bâtiment durant toute l'année, des variations saisonnières de la température sont exigés. La température au sol, qui est égale à la température moyenne annuelle, est alors toujours plus chaude que la température de l'air pendant l'hiver et plus froide pendant l'été.

Les nouvelles préoccupations énergétiques et environnementales relatives au confort thermique dans les bâtiments et à la qualité de l'air nécessitent la connaissance précise des températures et des mouvements d'air à l'intérieur des bâtiments

La connaissance des températures ambiantes moyennes journalières joue un rôle très important pour l'étude de l'isolation ainsi que le calcul des besoins énergétique pour le chauffage en période hivernale ou pour la climatisation en été.

L'isolation thermique permet à la fois de réduire vos consommations d'énergie de chauffage et / ou de climatisation et d'accroître votre confort.

Mais ce n'est pas tout : l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières.

Le climat en Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie : Le nord possède un climat méditerranéen, le sud saharien un climat désertique.

Dans la zone de transition entre montagnes et désert, et sur la bande côtière qui sépare les montagnes de la mer, se concentre l'essentiel de terres fécondes. Au sud de la zone de transition, le climat est désertique.

Dans ce contexte climatique, il est possible d'obtenir un meilleur confort thermique des logements tout en réalisant des économies de l'énergie de chauffage et de refroidissement. Il suffit, pour cela, d'appliquer un certain nombre de mesures, visant à améliorer la qualité thermique et énergétique de la consommation.

Des zonages climatiques ont été élaborés, ils tiennent compte des micros-climats régnant dans certaines régions, cela classe la commune de Draria en zone C.

Chapitre 1.
Notions de base

I- Isolation

L'isolation est un procédé visant à limiter les pertes thermiques d'un bâtiment afin de réduire sa consommation d'énergie.

L'isolation thermique est définie par différents procédés tels que :

L'isolation thermique intérieure ou ITI qui consiste à plaquer un isolant thermique à l'intérieur du bâtiment, contre les éléments de structure. L'avantage est la facilité de mise en œuvre à l'intérieur du bâtiment. L'inconvénient est la création de ponts thermiques au droit des planchers et murs de refends.

L'isolation thermique extérieure ou ITE qui consiste à appliquer un « manteau thermique » sur la structure extérieure. Ainsi les ponts thermiques sont éliminés, et l'isolation ainsi créée permet une meilleure performance énergétique.

L'isolation thermique répartie ou ITR. C'est l'utilisation de matériaux avec structure isolante qui permet d'obtenir une telle isolation thermique. Par exemple avec des briques Monomur, des agglomérés de type Siporex, ...

Dans tous les cas, l'isolation thermique est de plus en plus renforcée au fil des réglementations thermiques.

I.1- Isolation des murs extérieurs

Avant d'isoler un mur extérieur, il est primordial de s'assurer qu'il est sain et ne présente pas de traces de remontées capillaires ou d'infiltrations extérieures d'humidité.

En cas de dégradations dues à l'humidité, le pouvoir isolant des matériaux sera diminué. Le traitement préalable des zones humides est indispensable avant tous travaux d'isolation.

L'isolation des parois verticales peut s'effectuer de différentes manières. La plus répandue en Algérie est la technique du double mur (double cloison), l'isolant étant installé dans le vide d'air emprisonné par la cloison extérieure et intérieure. Cette technique est très intéressante si l'on considère ses performances thermiques aussi bien en termes de conductivité qu'en termes d'inertie.

L'isolation par l'intérieur est très peu utilisée en Algérie. Ceci étant lié au mode de vie des ménages ainsi qu'aux pratiques courantes de nettoyage (à l'eau). Elle présente aussi d'autres inconvénients tels que les ponts thermiques et les risques de condensation interne. Un autre inconvénient majeur est que l'isolation par l'intérieur annule les effets de l'inertie thermique initiale du mur.

II- Modes de transfert de chaleur

Il existe des échanges continuels de chaleur entre le bâtiment et son environnement.

On appelle flux de chaleur traversant une surface donnée la quantité de chaleur qui s'écoule, pendant l'unité de temps. La chaleur se déplace du corps le plus chaud vers le corps le plus froid jusqu'à ce que la température se stabilise.

D'une manière générale, trois modes de transmission de chaleur sont pris en considération.

II.1 - Conduction

La conduction est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre par contact physique direct, par simple interaction moléculaire.

Les molécules du secteur le plus chaud se heurtent vivement entre elles et transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides.

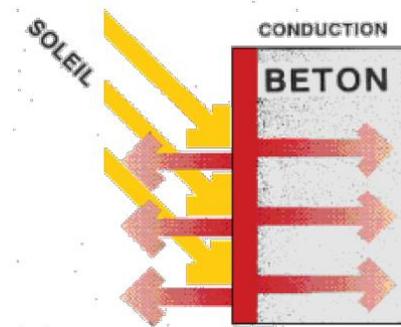


Figure I-1. Transmission par conduction

II.2 - Convection

Elle est définie comme étant :

1. l'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact,
2. le déplacement de chaleur au sein d'un fluide par le mouvement d'ensemble de ses molécules d'un point à un autre.

Dans le processus de convection, la chaleur se déplace comme toujours des zones chaudes vers les zones froides.

Le mouvement de convection peut tout aussi bien s'inverser. Lorsqu'un fluide chaud vient au contact d'une paroi froide, ses molécules les plus chaudes communiquent une partie de leur énergie de vibration aux molécules superficielles de la paroi.

Par exemple, l'air tiède au contact de la vitre froide d'une fenêtre se transforme en courant d'air frais vers le sol.

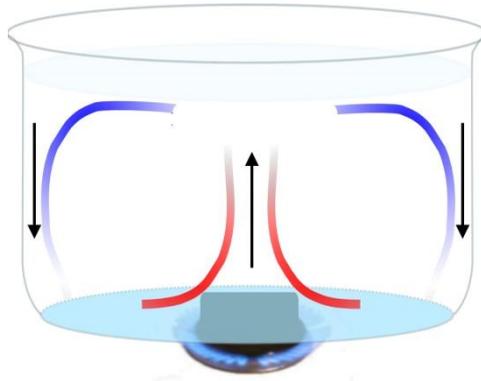


Figure I-2. Transmission par convection

II.3 - Rayonnement

Le rayonnement est un transfert de chaleur ne nécessitant aucun support de matière, c'est-à-dire pouvant s'effectuer dans le vide. Ce sont les photons qui, en se propageant, transfèrent la chaleur. L'exemple le plus connu est le rayonnement du soleil sur la terre.

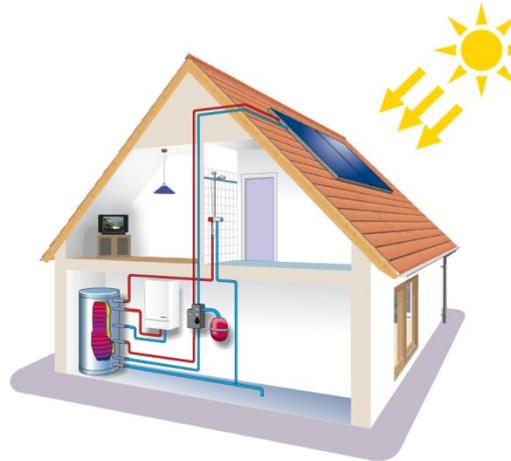


Figure I-3. Transmission par rayonnement

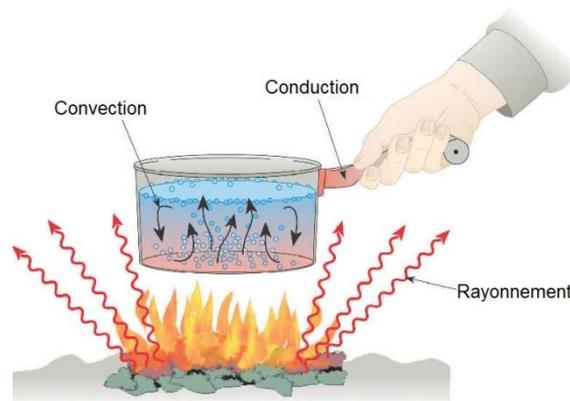


Figure I-4. Différents types de transmission

III- Déperditions thermiques

La déperdition thermique est la perte de chaleur que subit un bâtiment par ses parois et ses échanges de fluide avec l'extérieur. Elle est d'autant plus significative que l'isolation thermique est faible.

Les déperditions thermiques se produisent de trois façons :

- les déperditions à travers les parois, dites surfaciques
 - les déperditions par ponts thermiques
 - les déperditions par renouvellement d'air.
-
- La ventilation est le processus intentionnel de remplacement de l'air dans un espace, afin d'obtenir un air intérieur de haute qualité.
 - L'infiltration est l'entrée incontrôlée d'air frais dans un bâtiment par des chemins de fuite d'air dans la structure. L'infiltration peut contribuer à la ventilation, mais ne peut être considérée comme fiable lorsqu'elle n'est pas contrôlée.
 - Les ponts thermiques sont des points de l'enveloppe par lesquels s'écoule localement plus de chaleur que par les éléments adjacents. Ils sont souvent dus à un changement de matériau, de géométrie et à une pénétration ou un raccord de deux éléments de constructions.

En général, les ponts thermiques se situent :

- au niveau des ouvertures : une fenêtre simple vitrage est 100 fois plus conductrice qu'un mur en béton sans isolant. Ce type de fenêtre représente un obstacle tellement faible qu'il est quasi inexistant pour la chaleur. La majeure partie des déperditions se fait donc à ce niveau. Par ailleurs, le matériau des menuiseries est très important. En effet, si l'encadrement des fenêtres (ou portes) est très conducteur thermiquement, l'énergie s'évacuera via ce « pont » situé entre un mur bien isolé et un double vitrage. Par exemple, il faut retenir que l'aluminium est 200 fois moins isolant que le verre, et 10 000 fois moins isolant que l'air sec et immobile.
- au niveau des planchers, lorsque l'isolation est faite à l'intérieur : la dalle en béton est en effet à la température intérieure, et en contact direct avec l'extérieur. Le béton étant un très bon conducteur thermique, il va permettre l'évacuation, donc la perte de la chaleur. Il existe des « rupteurs de ponts thermiques » pour éviter ce phénomène. Ces systèmes doivent être prévus dès la conception du bâtiment.

IV- Résistance thermique

Pour rendre compte de l'isolation thermique d'un matériau, on a besoin de connaître la résistance aux flux de chaleur (exprimée en $m^2.K/W$) présentée par un matériau d'épaisseur donnée.

Plus la résistance thermique R est grande, plus le matériau est isolant.

Rôle de l'épaisseur de l'isolant et du λ

La résistance thermique R (en $m^2.K/W$) dépend de l'épaisseur (e) exprimée en mètre et de la conductivité thermique (λ) du matériau : $R = e / \lambda$.

La résistance thermique d'une paroi composite est calculée en additionnant les résistances des couches qui la composent

$$R_{th} = R_{th1} + R_{th2} + \dots + R_{thn}$$

V- Coefficient de transmission surfacique

Egalement appelé coefficient de déperdition thermique, K est exprimé en $W/m^2.K$. Il mesure la tolérance d'une paroi au passage de la chaleur. Plus K est faible, plus la paroi est performante.

Sur la base de K , différentes valeurs sont calculées :

K_w : coefficient de transmission thermique des fenêtres (menuiseries + vitrages)

K_g : coefficient de transmission thermique des vitrages

$K_{bat-ref}$: coefficient de déperdition de référence (simulation calculée sur la base d'un bâtiment de référence, dans un contexte de projet)

K_{bat} : coefficient de déperdition de l'ensemble du bâtiment. Il doit être inférieur ou égal au $K_{bat-ref}$

$$K = \frac{1}{R}$$

Le coefficient K d'une paroi composite n'est pas égal à la somme des coefficients de ses couches. Pour le calculer il faut connaître la résistance thermique de la surface composite.

VI- Déperditions calorifiques

Elles sont égales au flux de chaleur sortant d'un local ou d'un groupe de locaux par transmission à travers les parois et par renouvellement d'air pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elles sont exprimées en $W/°C$.

La déperdition par transmission dépend de la surface de toutes les parois du bâtiment entourant le volume chauffé, du coefficient de transmission thermique de celles-ci et des températures intérieure et extérieure de chaque local.

On retrouve ce type de déperdition au travers :

- De l'enveloppe du bâtiment
- Des espaces non chauffés
- Du sol

La déperdition par ventilation est la chaleur perdue par renouvellement d'air du bâtiment qui dépend du taux de ventilation et de la perméabilité du bâtiment.

VII- Inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Elle permet d'obtenir un déphasage thermique par rapport aux températures extérieures.

Un bâtiment à forte inertie thermique équilibrera sa température en accumulant le jour la chaleur qu'il restituera la nuit pour assurer une température moyenne.

L'inertie thermique dépend de la constitution de l'enveloppe et du poids des planchers et des murs intérieurs qui se trouvent en contact plus ou moins direct avec l'air intérieur. Les revêtements minces en PVC ou en carrelages n'empêchent pratiquement pas ce contact, car ils n'ont pas de capacité d'isolation thermique. En revanche, à cause de leur capacité d'isolation, une moquette épaisse ou un faux plafond empêchent le flux entre l'ambiance intérieure et les murs ou les planchers.

Effet de l'inertie :

D'une manière générale, l'inertie lourde permet de :

- Réduire les surchauffes en été, et d'éviter ou de diminuer de ce fait les besoins de refroidissement ;
- Bénéficier des apports solaires en hiver, surtout dans le cas d'un usage continu (logement, hôpital)

L'inertie légère en revanche, couplée à une bonne programmation, procure des économies d'énergie dans le cas d'un usage intermittent.

VIII- Habitation passive et habitation active

Les maisons dites passives reprennent l'idée de la construction bioclimatique que l'habitat peut répondre à l'essentiel de ses besoins énergétiques et notamment par la captation maximale du rayonnement solaire, mais pas seulement. L'habitat passif s'appuie principalement sur quatre piliers :

- L'isolation thermique : on isole de façon drastique lors de la construction d'une maison passive pour limiter les déperditions de chauffage. Il faut savoir que dans une maison

passive (très basse consommation) on exploite la « chaleur humaine » et celle dégagée par les appareils électriques. Les isolants d'une maison passive peuvent atteindre jusqu'à trente centimètres. C'est l'isolation par l'extérieur qui est privilégiée.

- Ventilation : l'air doit continuellement circuler à l'intérieur de la maison par l'ajout d'une ventilation double flux à filtres.
- Fenêtres : habituellement elles laissent s'échapper l'énergie intérieure mais en même temps laissent entrer l'énergie solaire. On corrige ce défaut principal en recourant à un triple vitrage. Par ailleurs, on privilégie une grande surface vitrée plutôt que de nombreuses petites fenêtres, pour éviter les déperditions par le châssis.
- Ponts thermiques et étanchéité : il s'agit de limiter les sensations de parois froides dues au fait que des éléments conducteurs de la construction laissent s'échapper le chauffage de la maison vers l'extérieur plus froid et l'inverse.

Une maison ayant un label « maison passive » peut voir sa consommation d'énergie divisée par quatre par rapport à une maison classique.

Une maison active est une habitation qui produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. La facture énergétique est ramenée à zéro et il reste encore de l'énergie excédentaire que la maison peut revendre au réseau.

En fait, une maison active est une maison zéro énergie qui produit de l'énergie renouvelable sur place. La quantité d'énergie produite est telle qu'on a un surplus d'énergie.

IX- Constante de temps d'un bâtiment

Elle indique le temps de réponse du bâtiment à un changement brusque de la température extérieure. Plus précisément, si l'on envisage une augmentation brusque de la température extérieure à un instant t_0 , la constante de temps t indique le temps en lequel 63% du saut de température sera reporté sur la température intérieure.

X- Puissance de chauffage

La puissance de chauffage est l'énergie nécessaire pour assurer une température de consigne et de confort dans la pièce ou le bâtiment à chauffer. Elle s'exprime en Watt (W). La puissance de chauffage dépend d'un calcul de besoins ou de déperditions (pertes thermiques à combattre pour créer l'équilibre de chauffage dans la pièce considérée). Elle se calcule dans les conditions extrêmes à partir de la température extérieure de base ; données de calcul connues pour chaque ville.

XI- Isolation des toitures

En Algérie, les toitures sont en générale en corps creux ou en dalle pleine. L'isolation des toitures est une intervention prioritaire, en effet :

La toiture terrasse est la partie la plus exposée d'un logement aux conditions climatiques.

La température de l'air au plafond est plus élevée qu'au sol (l'air chaud monte). Or la quantité de chaleur qui traverse une paroi est d'autant plus importante que la différence entre les températures de chaque côté de cette paroi est grande.

XI.1 - Avantages de l'isolation thermique de la toiture

- Diminuer la consommation énergétique du bâtiment : l'économie réalisée par rapport à une toiture non isolée dépend de l'épaisseur et du type d'isolant. Cette économie a un impact important sur les consommations globales du bâtiment étant donné l'importance de la contribution de la toiture à l'ensemble des déperditions calorifiques des parois.
- Améliorer le confort de l'occupant : en hiver, la température du plafond sous toiture se voit augmentée grâce à l'isolation. Ceci a un impact immédiat sur le confort des occupants par la suppression de l'effet de rayonnement vers le plafond froid. En été, l'isolation protège les locaux sous toiture des surchauffes provoquées par l'ensoleillement de la toiture.
- Diminuer le risque de condensation : l'augmentation de la température intérieure de surface diminue les risques de condensation au niveau des plafonds des locaux sous toiture.
- Protéger la structure du toit : l'isolation peut diminuer les influences des variations des températures journalières et saisonnières sur le complexe toiture.

XI.2 - Procédés d'isolation des toitures terrasses

Plusieurs solutions techniques sont possibles en fonction de différents critères comme la nature du bâtiment, le type d'isolant à mettre en œuvre, la pente ou la destination de la terrasse, qui peut être inaccessible, accessible ou végétalisée.

La solution d'isoler une toiture terrasse par l'intérieur est vivement déconseillée.

Un faux plafond comprenant un vide d'air ne peut pas être considéré comme une isolation car un faux-plafond n'a pas les caractéristiques d'un produit isolant.

XII- Qualité des isolants thermiques :

La conductivité thermique n'est pas la seule propriété à prendre en compte dans le choix d'un isolant. Les caractéristiques suivantes sont au moins aussi importantes, et peuvent être primordiales suivant les applications :

- Résistance au feu.
- Résistance mécanique (traction et compression)
- Etanchéité à l'air.
- Résistance à la diffusion de vapeur d'eau.
- Faible absorption d'eau par immersion, par flottaison et par diffusion.
- Stabilité dimensionnelle et comportement à la chaleur.
- Qualités acoustiques
- Prix.

Chapitre 2.
Les isolants

I. Introduction

À l'inverse des métaux qui sont bons conducteurs de la chaleur, les isolants ne conduisent pas la chaleur.

La résistance thermique d'un matériau isolant est d'autant plus élevée que son épaisseur est grande et que son coefficient de conductivité (λ) est faible.

La résistance thermique, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$, s'obtient par le rapport de l'épaisseur (en mètres) sur la conductivité thermique λ (λ) du matériau considéré.

Pour choisir un produit isolant ou d'isolation, on prendra en compte sa résistance thermique R qui figure sur l'étiquette du produit. Plus R est important, plus le produit est isolant.

Il existe trois grandes familles d'isolation : l'isolation par l'intérieur, l'isolation par l'extérieur et l'isolation répartie. Dans tous les cas, il est très important de prévoir une ventilation adéquate, afin d'éviter l'accumulation de chaleur, et de renouveler l'air intérieur.

II. Les isolants

II-1. Le vitrage

La performance thermique d'une paroi vitrée dépend de la nature de la menuiserie, des performances du vitrage et de la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre. Mais la nature des fermetures (volets, persiennes) intervient également. En effet, elles peuvent réduire les déperditions, particulièrement la nuit. Enfin, les protections sont très efficaces pour limiter la température intérieure en été.

- La qualité de la fenêtre

Les fenêtres modernes sont toutes munies de garnitures d'étanchéité qui leur confèrent d'excellentes performances en termes de perméabilité à l'air et d'étanchéité à l'eau. Des solutions performantes existent en menuiseries bois, PVC, et aluminium à rupture de pont thermique. Les menuiseries en aluminium sans rupture de pont thermique sont à proscrire en raison de la forte conductivité thermique de ce matériau (source de déperditions thermiques et d'inconfort).

- La qualité du vitrage

Le double vitrage classique (deux verres emprisonnant une lame d'air) est plus performant que le simple vitrage :

- il réduit l'effet de paroi froide ;
- il diminue les condensations et les déperditions thermiques à travers les fenêtres.

Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. Une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est

déposée sur une des faces du verre (coté lame d'air). Cette couche agit comme un bouclier invisible pour empêcher en hiver la chaleur intérieure de fuir à l'extérieur. Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) a un pouvoir isolant deux à trois fois supérieur à celui d'un double vitrage ordinaire, et plus de quatre fois supérieur à celui d'un vitrage simple.

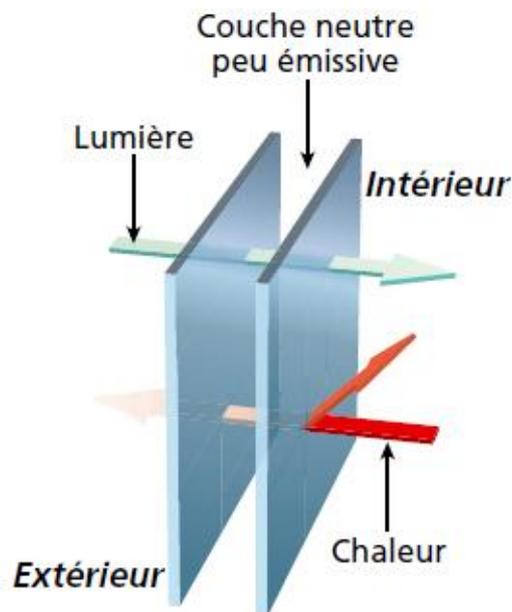


Figure II-1. Double vitrage

Il peut permettre des économies de chauffage de l'ordre de 10 % et améliore fortement les conditions de confort.

En effet, il fait disparaître l'effet de paroi froide. Associé à un système de gestion des apports solaires (occultation extérieure), il peut contribuer à limiter les effets de surchauffe en été.

II-2. Les matériaux

Les matériaux isolants modernes sont, dans leur grande majorité, des matériaux poreux légers, au sein desquels le transfert de chaleur se fait à la fois par conduction et rayonnement. Le caractère semi-transparent de certains de ces matériaux, même à la température ambiante, a suscité un grand nombre d'études et a nécessité une remise en question du traitement traditionnel de ces matériaux, ainsi qu'une reconsidération de la terminologie utilisée pour décrire leurs propriétés.

II-2-1. Différents matériaux

1) Le béton

Des expérimentations ont montré que plus les murs sont épais et les matériaux sont lourds, plus l'inertie est grande. Avec le béton, l'habitation bénéficie d'un maximum d'inertie thermique.

En plus des économies d'énergie réalisées, les parois lourdes participent au confort d'hiver comme d'été en écrêtant les pointes de température. En hiver, le béton absorbe la chaleur de la journée et la restitue la nuit, par conduction.

Pendant l'été, le béton accumule la fraîcheur de la nuit et peut ainsi faire baisser la température de 3 à 4 degrés. La maison béton reste fraîche et agréable pour ses occupants en évitant les surchauffes pendant la journée.

2) Laine de roche

C'est un matériau naturel né de l'activité volcanique et du savoir faire humain, utilisé dans le bâtiment comme isolant thermique, isolant acoustique ou pour la protection contre l'incendie.

Elle est issue du basalte, une roche volcanique noire présente dans de nombreuses régions du monde, le procédé de fabrication s'apparente à l'activité naturelle d'un volcan, elle entre en fusion dans un four chauffé à 1500°C et ensuite changée en fibres par l'action de roues tournant à grande vitesse, on ajoute ensuite un liant aux fibres et une huile d'imprégnation pour rendre le produit stable et hydrofuge.

- Caractéristiques

Densité 20 à 150

Conductivité thermique 0.034 à 0.04

Comportement au feu incombustible

Prix de vente 1000 à 2000 Da /m²

- Domaines d'application

Bâtiments tertiaires, résidentiels logement individuel ou collectif pour les toitures et les murs.

Les panneaux de laine de roche nu ou avec un pare vapeur sont appliqués dans les murs en double cloisons.

La laine de roche en vrac mise en place par insufflation entre les doubles cloisons.

3) Laine de verre

C'est un matériau qui se présente comme un matelas de fibres de verres extrêmement fines, on l'utilise comme isolant thermique, isolant acoustique et pour la protection contre l'incendie.

La laine de verre est fabriquée à partir de silice et extrudée en nombreuses fibres de fin diamètre.

- Les caractéristiques

Densité 13 à 60

Conductivité thermique 0.034 à 0.045

Comportement au feu peu combustible à non inflammable

Résistance à la compression 0.2

Prix de vente public HT 1000 à 2000 DA/m²

- Domaine d'application

Bâtiments tertiaires, résidentiels logement individuel ou collectif pour les toitures et les murs.

La laine de verre prend la forme de rouleaux, panneaux et flocons selon l'accessibilité des parties à isoler, de la configuration de l'habitation et le confort de l'isolation recherché.

La laine de verre en rouleaux ou en panneaux à faible ou à moyenne densité est utilisé pour l'isolation des murs en double cloisons.

La laine de verre en panneaux à forte densité est utilisée pour l'isolation des toitures.

4) Polyuréthane

Il est obtenu par le mélange de trois composants, un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion en présence de catalyseurs. Le polyuréthane se présente ainsi sous forme d'une structure alvéolaire renfermant un gaz encore plus isolant que l'air.

Le polyuréthane est employé en panneaux pour des isolations sous chapes, sur terrasses ou pour l'isolation extérieure des murs, il est aussi employé sous forme de mousse pour les doubles cloisons et pour servir de joints de calfeutrement.

- Les caractéristiques

Densité 28 à 50

Conductivité thermique 0.022 à 0.028

Comportement au feu combustible moyennement inflammable

Résistance à la compression 1.6 à 3.5

Prix en vente public HT 1700 à 2000 DA/m²

- Domaines d'application :

Tout type de bâtiments existants ou neufs et tout type de support, toitures, toitures-terrasses, doubles cloisons, planchers et sols.

Par projection sur tout matériau, la mousse forme un cocon isolant et protecteur : isolation extérieure des bâtiments (toitures et façades) et isolation interne (murs et sols..)

En toiture non régulière et toiture terrasse

Par injection permettant de remplir intégralement toute les cavités : isolation des doubles cloisons.

5) Liège

C'est un matériau présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Le liège est un produit de faible densité, antistatique, résiste relativement bien au feu, bon isolant thermique, acoustique et vibratoire, et résistant à l'eau grâce à la subérine qui imprègne les cellules. Il est souple et se décompose lentement.

Concassé en granulées, on le transforme en panneaux d'isolation, revêtement mural ou pour le sol.

- Les caractéristiques

Densité 80 à 140

Conductivité thermique 0.032 à 0.045

Comportement au feu difficilement inflammable

Résistance à la compression 0.2

Prix de vente public HT 400 à 500 DA/m²

- Domaines d'application

Bâtiments tertiaires, résidentiels logement individuel ou collectif pour les toitures et les murs. Il peut être applicable dans les zones à risque d'humidité comme les terrasses et les caves.

En vrac ou en panneaux, il est utilisé pour l'isolation des doubles cloisons par remplissage, ou par insufflation.

- Autres alternatives

Les granulés sont utilisables en vrac, pour confectionner des bétons allégés pour l'isolation en toiture terrasses et remplissage en double-cloisons par du béton de liège.

Avec des granulés non expansés, on peut réaliser un mortier dont la conductivité thermique sera de $0.10 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$

6) Polystyrène

C'est un matériau qui présente des hautes performances en matière d'isolation et de nombreux avantages aussi bien pour les utilisateurs que pour les professionnels de la construction.

Le polystyrène expansé (PSE) est fabriqué au moyen d'hydrocarbure (Styrène) expansé à la vapeur d'eau et au pentane, présente donc une structure à pores ouverts.

Le polystyrène extrudé (XPS) est soumis à un agent gonflant sous pression qui lui confère une structure à pores fermés.

- Les caractéristiques

Densité 80 à 140

Conductivité thermique 0.032 à 0.045

Comportement au feu difficilement inflammable

Résistance à la compression 0.2

Prix de vente public HT 200 à 400 DA/m²

- Domaines d'application :

Bâtiments tertiaires, résidentiels logement individuel ou collectif.

Le polystyrène expansé (EPS) à faible ou à moyenne densité pour l'isolation des parois verticales.

Le polystyrène extrudé (XPS) est recommandé pour l'isolation des toitures inversées.



II-2-2. Avantages et inconvénients

Chaque matériau isolant a des avantages et des inconvénients qui sont résumés dans le tableau suivant :

Tab II-1. Avantages et inconvénients des matériaux isolants

	avantages	inconvénients
Laine de roche	<ul style="list-style-type: none"> – Matériau incombustible et résistant au feu – Bonne résistance à la compression – Résistance au vieillissement et à la détérioration – Résistante aux substances chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> – Dégradation de la performance thermique en présence de l'humidité – Tassement important à long terme en double cloisons
Laine de verre	<ul style="list-style-type: none"> – Matériau peu combustible et résistant au feu – Bonne résistance à la compression – Résistance au vieillissement et à la détérioration – Résistante aux substances chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> – Dégradation des performances thermiques en présence d'humidité à cause des défauts de mise en œuvre souvent négligés – Tassement important à long terme en double cloisons à cause des défauts de mise en œuvre (fixations)
Polyuréthane	<ul style="list-style-type: none"> – Bonne résistance mécanique – Bonne résistance à l'humidité – Application rapide (mousse), même dans les endroits difficiles d'accès ou sur les surfaces irrégulières. 	<ul style="list-style-type: none"> – Nécessite un matériel de protection lors de la mise en œuvre – Résiste mal à la chaleur et au feu et au rayonnement ultra violet
Liège	<ul style="list-style-type: none"> – Bonne inertie thermique – Bonne résistance mécanique en compression – Très bon isolant en dalle et plancher – Peu d'énergie consommée à la fabrication – Insensible aux rongeurs et aux insectes – Pas de dégagements toxiques – Pas de variation à l'humidité et à la chaleur – Matériau renouvelable, naturel, et recyclable. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mise en œuvre entre chevrons à éviter (pont thermique difficile à traiter) – Ressource renouvelable mais d'assez faible disponibilité – Prix relativement élevés

Polystyrène	<ul style="list-style-type: none">- Excellents propriétés mécaniques- Sa facilité de mise en œuvre- Bonne performance thermique- Coût faible de ce matériau (PSE)- Bonne performance thermique- Bonne stabilité dimensionnelle (XPS)- Imputrescible	<ul style="list-style-type: none">-Mauvaise stabilité dimensionnelle (PSE) à long terme-Energie grise importante (énergie nécessaire pour la production du matériau)-Dégradation des caractéristiques en cas de longue exposition au U.V (PSE)-Ressource non renouvelable-Non recyclable
-------------	---	--

Chapitre 3.
Application du
DTR C3.2

I- Introduction

Dans cette étude l'isolation thermique sera essentiellement faite sur les murs verticaux d'un appartement au dernier étage, nous étudierons l'isolation des murs traditionnels et nous la comparerons à deux autres variantes.

La première étape dans un projet d'isolation thermique consiste à faire un calcul des déperditions du bâti étudié.

Il consiste en fait à savoir combien il y a de perte de chaleur par les différentes parois du bâtiment (plancher bas, murs extérieurs, plancher haut...) ainsi que par les différents ponts thermiques.

Ce calcul nous servira à dimensionner une puissance de chauffage correspondante pour le bâtiment étudié. Pour cela nous appliquerons le DTR C3.2 : Règles de calcul des déperditions thermiques pour trois variantes :

Pour la première variante nous avons laissé les matériaux utilisés habituellement dans la construction, c'est-à-dire, des murs extérieurs constitué de deux parois en brique séparé par un vide d'air de 5 cm et des plancher en corps creux.

Par la suite, nous avons remplacé le vide d'air des parois donnant sur l'extérieur par du polystyrène de 5 cm d'épaisseur, et les corps creux des plancher par des entrevous en polystyrène expansé.

En ce qui concerne la troisième variante, elle est identique à la deuxième, sauf que les murs de séparations entre les différents espaces sont remplacés par deux panneaux de plâtre avec de la laine de roche entre les deux.

Nous définissons les caractéristiques du logement étudié qui est constitué de 4 chambres, une cuisine et une salle d'eau comme suit :

- Surface $S=85.35 \text{ m}^2$
- Hauteur d'étage : $h_e = 3.0 \text{ m}$
- Dimension des portes : $0.95 \times 2 \text{ m}^2$
- Dimension des fenêtres : $1.2 \times 1.2 \text{ m}^2$

II- Déperditions totales d'un volume

Elles sont données par : $D_i = (D_T)_i + (D_R)_i$

Où :

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

III- Déperditions par transmission d'un volume

Elles sont données par :

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

Où :

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

III.1 - Calcul de la conductance K

Nous débutons cette étude par le calcul de la conductance K de toutes les parois du logement, horizontales et verticales et cela pour les trois variantes à étudier.

III.1.1 - Première variante

- ✓ Coefficient de la conductance K pour les planchers à corps creux donnant sur l'extérieur

Tab.3.1 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Gravillon	0.05	1.2	0.04
Etanchéité multicouche	0.02	0.23	0.087
Forme de pente	0.1	1.75	0.057
Corps creux	0.2	-	0.17
Polystyrène expansé	0.06	0.04	1.5
Enduit de ciment	0.015	1.4	0.01
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 2.141$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de façades

Tab.3.2 – Calcul de la résistance d'un mur de façade

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Brique creuse	0.15	-	0.3
Lame d'air	0.05	-	0.16
Brique creuse	0.10	-	0.2
Mortier de plâtre	0.02	0.35	0.06
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 0.9$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 1.11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de séparation

Tab.3.3 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Brique creuse	0.15	-	0.3
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 0.63$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 1.57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les retombés des poutres secondaires donnant vers l'extérieur

Tab.3.4 – Calcul de la résistance de la retombé d'une poutre secondaire

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Béton armé	0.25	1.75	0.143
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 0.38$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les retombés des poutres principales donnant vers l'extérieur

Tab.3.5 – Calcul de la résistance de la retombé d'une poutre principale

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Béton armé	0.3	1.75	0.17
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 0.41$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2.43 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs en béton armé donnant vers l'extérieur

Tab.3.6 – Calcul de la résistance d'un mur en béton armé

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Béton armé	0.2	1.75	0.114
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 0.35$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour murs de séparation en béton armé

Tab.3.7 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation en béton armé

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Béton armé	0.2	1.75	0.114
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 0.45$

$$\text{Donc } K = \frac{1}{\Sigma R} = 2.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- ✓ Coefficients de conductance K pour les ouvrants

Cas des portes : les portes étant en bois, leur conductance est de :

$K = 3.5$ pour les portes donnant vers l'extérieur

$K = 2$ pour les portes donnant vers des locaux non chauffés.

Cas des fenêtres : $\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ}$

Où :

- K_{vn} (en W/m².°C) est le coefficient K du vitrage nu ;
- r_v (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des voilages éventuels = 0,025 m².°C/W ;
- r_{rid} (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des rideaux éventuels = 0,030 m².°C/W ;
- r_{occ} (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des occultations.

$$\text{Avec : } r_{occ} = 0.16 + \frac{e_{occ}}{\lambda_{occ}} = 0.16 + \frac{0.02}{0.15} = 0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Pour le vitrage simple en bois : $K_{vn} = 5$

Ce qui nous donne : $\frac{1}{K} = 0.55$,

d'où : $K_f = 1.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

$$K_{pf} = 1.73 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

III.1.2 - Deuxième variante

- ✓ Coefficient de conductance K pour les planchers à corps creux donnant sur l'extérieur

Tab.3.8 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur

Éléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Gravillon	0.05	1.2	0.04
Étanchéité multicouche	0.02	0.23	0.087
Forme de pente	0.1	1.75	0.057
Corps creux en polystyrène expansé	0.2	-	0.79
Polystyrène expansé	0.06	0.04	1.5
Enduit de ciment	0.015	1.4	0.01
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 2.76$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de façades

Tab.3.9 – Calcul de la résistance d'un mur de façade

Éléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Brique creuse	0.15	-	0.3
Polystyrène	0.05	0.04	1.25
Brique creuse	0.10	-	0.2
Mortier de plâtre	0.02	0.35	0.06
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 1.99$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de séparation

Tab.3.10 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Laine de roche	0.15	0.038	3.95
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 4.28$

$$\text{Donc } K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- ✓ Coefficients de conductance K pour les ouvrants

Cas des portes : les portes étant en bois, leur conductance est de :

K = 3.5 pour les portes donnant vers l'extérieur

K = 2 pour les portes donnant vers des locaux non chauffés.

Cas des fenêtres : $\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ}$

Où :

- K_{vn} (en W/m².°C) est le coefficient K du vitrage nu ;
- r_v (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des voilages éventuels = 0,025 m².°C/W ;
- r_{rid} (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des rideaux éventuels = 0,030 m².°C/W ;
- r_{occ} (en m².°C/W) est la résistance supplémentaire des occultations.

$$\text{Avec : } r_{occ} = 0.16 + \frac{e_{occ}}{\lambda_{occ}} = 0.16 + \frac{0.02}{0.15} = 0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Pour le vitrage simple en bois : $K_{vn} = 5$

Ce qui nous donne : $\frac{1}{K} = 0.55$,

d'où : $K_f = 1.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

$$K_{pf} = 1.73 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

III.1.3 - 3^{ème} variante

- ✓ Coefficient de conductance K pour les planchers à corps creux donnant sur l'extérieur

Tab.3.11 – Calcul de la résistance d'un plancher donnant vers l'extérieur

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Gravillon	0.05	1.2	0.04
Etanchéité multicouche	0.02	0.23	0.087
Forme de pente	0.1	1.75	0.057
Corps creux en polystyrène expansé	0.2	-	0.79
Polystyrène expansé	0.06	0.04	1.5
Enduit de ciment	0.015	1.4	0.01
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 2.76$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.36 \text{ W/m}^2.\text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de façades

Tab.3.12 – Calcul de la résistance d'un mur de façade

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.0143
Brique creuse	0.15	-	0.3
Polystyrène	0.05	0.04	1.25
Brique creuse	0.10	-	0.2
Mortier de plâtre	0.02	0.35	0.06
Résistance superficielle	-	-	0.17
			$\Sigma = 1.99$

Donc $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.5 \text{ W/m}^2.\text{°C}$

- ✓ Coefficient de conductance K pour les murs de séparation

Tab.3.13 – Calcul de la résistance d'un mur de séparation

Eléments constitutifs	e [m]	λ [W/m.°C]	r [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Laine de roche	0.15	0.038	3.95
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance superficielle	-	-	0.22
			$\Sigma = 4.28$

$$\text{Donc } K = \frac{1}{\Sigma R} = 0.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- ✓ Coefficients de conductance K pour les ouvrants

Cas des portes : les portes étant en bois, leur conductance est de :

$K = 3.5$ pour les portes donnant vers l'extérieur

$K = 2$ pour les portes donnant vers des locaux non chauffés.

Cas des fenêtres : $\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ}$

Où :

- K_{vn} (en W/m²·°C) est le coefficient K du vitrage nu ;
- r_v (en m²·°C/W) est la résistance supplémentaire des voilages éventuels = 0,025 m²·°C/W ;
- r_{rid} (en m²·°C/W) est la résistance supplémentaire des rideaux éventuels = 0,030 m²·°C/W ;
- r_{occ} (en m²·°C/W) est la résistance supplémentaire des occultations.

$$\text{Avec : } r_{occ} = 0.16 + \frac{e_{occ}}{\lambda_{occ}} = 0.16 + \frac{0.02}{0.15} = 0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Pour des doubles vitrages en bois : $K_{vn} = 3.3$

Ce qui nous donne : $\frac{1}{K} = 0.55$,

d'où : $K_f = 1.52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

$$K_{pf} = 1.73 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

III.2 - Déperdition surfacique par transmission à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

$$D_S = K.A$$

$$\frac{1}{K} = \sum r$$

1^{ère} variante

Tab.3.14 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 1^{ère} variante

Parois		A _i [m ²]	K _i [W/m ² .°C]	D _S [W/°C]
Murs	Double cloison	24.6	1.11	27.3
	Béton armé	17.85	2.8	49.98
Fenêtres		6.06	1.8	10.9
Portes fenêtres		1.88	1.73	3.25
Poutres principales		2.15	2.43	5.22
Poutres secondaires		1.42	2.6	3.68
Poteaux		1.9	1.025	1.95
Terrasse		85	0.47	39.95

D'où : D_S = 145.9 W/°C

2^{ème} variante

Tab.3.15 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 2^{ème} variante

Parois		A _i [m ²]	K _i [W/m ² .°C]	D _S [W/°C]
Murs	Double cloison	24.6	0.5	12.3
	Béton armé	17.85	2.8	49.98
Fenêtres		6.06	1.8	10.9
Portes fenêtres		1.88	1.73	3.25
Poutres principales		2.15	2.43	5.22
Poutres secondaires		1.42	2.6	3.68
Poteaux		1.9	1.025	1.95
Terrasse		85	0.36	30.6

D'où : $D_s = 117.9 \text{ W/}^\circ\text{C}$

3^{ème} variante

Tab.3.16 – Calcul des déperditions surfaciques pour la 3^{ème} variante

Parois		A_i [m ²]	K_i [W/m ² .°C]	D_s [W/°C]
Murs	Double cloison	24.6	0.5	12.3
	Béton armé	17.85	2.8	49.98
Fenêtres		6.06	1.52	9.2
Portes fenêtres		1.88	1.73	3.25
Poutres principales		2.15	2.43	5.22
Poutres secondaires		1.42	2.6	3.68
Poteaux		1.9	1.025	1.95
Terrasse		85	0.36	30.6

D'où : $D_s = 116.18 \text{ W/}^\circ\text{C}$

III.3 - Déperditions à travers les parois en contact avec le sol

Cette étude concerne un appartement d'un étage courant. Avec l'hypothèse que tous les appartements soient chauffés à la même température, donc le flux de chaleur sera nul entre les logements.

$$D_{\text{sol}} = 0 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

III.4 - Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés

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

Dans le cas du logement, les locaux non chauffés sont généralement les combles, les vides sanitaires, les caves, les greniers, les celliers, les garages et les circulations communes.

Les déperditions à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont pondérées par un coefficient T_{au} , sans dimension, dit "coefficient de réduction de température". La valeur de T_{au} est comprise entre 0 et 1.

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

$$D_{\text{Inc}} = T_{\text{au}} \times [\Sigma (K \times A) + \Sigma (k_l \times L)] \quad [\text{W/}^\circ\text{C}]$$

Où :

- K (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie
- A (en m^2) est la surface intérieure de chaque partie surfacique
- k_l (en $W/m \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison
- L (en m) est la longueur intérieure de chaque liaison
- T_{au} est le coefficient de réduction de température = 0.35

$(K \times A) + \Sigma (k_l \times L)$ est calculée comme s'il s'agissait d'une paroi extérieure mais avec les valeurs des coefficients d'échange superficiel des parois intérieures.

Tab.3.17 – Calcul des déperditions surfacique vers les locaux non chauffés

Parois	A_i [m^2]	K_i [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]			D_{Inc} [$W/^\circ C$]		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Murs de séparation	32.4	1.57	0.23	0.23	46.36	31.15	
Voiles de séparation	30.6	2.23					
Portes	3.8	3.5					

III.5 - Déperditions à travers les liaisons

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique, D_{li} , pour une différence de température de $1^\circ C$, sont données par la formule :

$$D_{li} = k_l \times L \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

Où :

- k_l (en $W/m \cdot ^\circ C$) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison,
- L (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

Ces déperditions peuvent aussi être évaluées par un calcul simplifié, qui préconise de les évaluées à 20 % des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$D_{li} = 0.2 \Sigma (K \cdot A)$$

Tab.3.18 – Calcul des déperditions à travers les liaisons

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
D_S [$W/^\circ C$]	145.9	117.9	116.18
$D_{S \text{ int}}$ [$W/^\circ C$]	132.4	89	89
D_{li} [$W/^\circ C$]	55.7	41.38	41.04

Où : K et A sont respectivement le coefficient de transmission surfacique (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) et la surface intérieure (en m^2) de chaque élément de paroi.

Nous aboutissons donc aux déperditions par transmission suivants :

Tab.3.19 – Calcul des déperditions par transmission

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
$D_T [W/^\circ C]$	247.96	190.43	188.37

IV- Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

Elles sont données par :

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

Où :

- $(D_{Rv})_i$: déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation;
- $(D_{Rs})_i$: déperditions supplémentaires dues au vent.

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

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

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

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s)$$

Où :

- 0,34 (en $Wh/m^3 \cdot ^\circ C$) est la chaleur volumique de l'air;
- Q_v (en m^3/h) est le débit spécifique de ventilation ;
- Q_s (en m^3/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

$0,34 \times Q_v$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées D_{Rv} ; de même, $0,34 \times Q_s$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées D_{Rs} .

IV.1 - Calcul du débit spécifique de ventilation Q_v pour un logement

Il est donné par la formule suivante :

$$Q_v = \max \{ 0.6 \times V_h ; Q_{v,ref} \}$$

V_h est le volume habitable = $256 m^3$

Le débit extrait de référence $Q_{v\text{réf}}$ est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente, il est donnée par :

$$Q_{v\text{réf}} = \frac{5 Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}}{6} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Où :

- $Q_{v\text{max}}$ est le débit extrait maximal de référence,
- $Q_{v\text{min}}$ est le débit extrait minimal de référence

D'après le tableau 7.1 du DTR C3.2, puisque le nombre de pièce est de 4, alors

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le débit extrait maximal de référence $Q_{v\text{max}}$ est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement, dont les valeurs sont données dans le tableau 7.2 du DTR C3.2.

Ce qui nous mène à $Q_{v\text{max}} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$

D'où :

$$Q_{v\text{réf}} = 113.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donc : $Q_v = 153.63 \text{ m}^3/\text{h}$

IV.2 - Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent Q_s pour un logement

$$Q_s = \sum P_{Pi} + e_{vi} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Où :

- P_{Pi} : est la perméabilité à l'air de la paroi i .
- e_{vi} (sans dimension) est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i .

La perméabilité d'une paroi i P_{Pi} est donnée par la formule suivante :

$$P_{Pi} = \sum P_{oj} x A_j$$

Où :

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

On défini aussi :

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

L'appartement possède 3 portes et 2 fenêtres donnant vers l'extérieur.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Tab.3.20 - Calcul du débit supplémentaire par infiltration due au vent

Parois	A_j [m ²]	H_i [m]	Classe de rugosité	e_{vi}	P_{oj} [m/h.m ²]	P_{Pi} [m ³ /h]	Q_{si} [m ³ /h]
Porte vers l'extérieur	1.9	1	IV	1.47	6	34.2	38.61
Fenêtre	1.44		IV	1.47	4	11.52	14.46

D'où :

$$Q_s = 53.07 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_V + Q_S) = 70.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

V- Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_t du logement doivent vérifier

$$D_t \leq 1.05 D_{ref} \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

Avec $D_{ref} = aS_1 + bS_2 + cS_3 + dS_4 + eS_5$

Où : S = surface des parois en contact avec l'extérieur, ou le sol

S_1 : toiture, terrasse ; S_2 : planchers bas ; S_3 : murs ; S_4 : portes ; S_5 : fenêtres

les coefficients a , b , c , d et e , (en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), sont donnés dans le tableau 2.1 du DTR C3.2. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

La zone climatique étant A, les coefficients sont :

$$a = 1,10 ; b = 2,40 ; c = 1,20 ; d = 3,50 \text{ et } e = 4,50$$

Nous obtenons les déperditions de référence suivant :

Tab.3.21 – Surface des parois en contact avec l'extérieur

S_1 [m ²]	S_2 [m ²]	S_3 [m ²]	S_4 [m ²]	S_5 [m ²]	D_{ref} [W °/C]
85	-	63.6	6.0	6.06	218.1

Cette vérification est satisfaite seulement pour la deuxième et troisième variante.

VI- Calcul des déperditions de base

VI.1 - Exigence réglementaire

Le calcul de la puissance de chauffage d'un logement doit comporter le calcul des déperditions de base selon la méthode décrite dans ce DTR. Pour cela, on doit prendre en compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base.

VI.2 - Déperditions de base totales

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

$$D_B = \Sigma (D_B)_i \quad [W]$$

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

VI.3 - Déperditions de base pour un volume

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

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

Où :

- D_i (en $W/^\circ C$) représente les déperditions totales du volume thermique $i = D_T + D_R$
- t_{bi} (en $^\circ C$) est la température intérieure de base du volume considéré = $21^\circ C$
- t_{be} (en $^\circ C$) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction = $6^\circ C$

Les résultats obtenus sont mentionné dans le tableau suivant :

Tab.3.22 – Calcul des déperditions de base

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
D_B [W]	4773.9	3910.95	3880.05

VII- Puissance de chauffage à installer

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

Où :

- t_{bi} ($^\circ C$) représente la température intérieure de base = $21^\circ C$
- t_{be} ($^\circ C$) représente la température extérieure de base = $6^\circ C$
- D_T ($W/^\circ C$) représente les déperditions par transmission du logement

- D_R (W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement
- c_r est un ratio estimé des pertes calorifiques due au réseau de tuyauterie éventuel = 0
- c_{in} représente un coefficient de surpuissance = 0.1

$$Q = 16.5 \times D_T + 15 \times D_R$$

Nous aboutissons finalement à la puissance de chauffage mentionnée dans le tableau suivant pour les trois variantes étudié.

Tab.3.23 – Calcul de la puissance de chauffage

Variantes	D_T [W/°C]	D_R [W/°C]	Q [W]
1	247.96	70.3	5145.84
2	190.43		4196.6
3	188.37		4162.6

VIII- Conclusion

Nous remarquons la troisième variante donne la meilleur isolation thermique et donc la plus grande économie de chauffage par rapport aux deux autres variantes.

Nous constatons aussi que la deuxième variante nécessite une puissance de chauffage presque équivalente à la troisième et avec un coût moindre, vu l'utilisation du Placoplâtre dans la dernière variante.

Conclusion générale

L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort de la maison.

Il existe des produits d'isolation adaptés à chaque situation : pour les murs, les planchers ou les plafonds, pour les fenêtres, pour l'intérieur ou l'extérieur. Des solutions techniques diversifiées permettent de traiter chaque cas avec efficacité.

Cette étude nous a permis de constater que l'utilisation de la laine de roche placée entre deux panneaux de Placoplatre, au niveau des murs de séparation, n'apporte pas une économie d'énergie de chauffage très importante par rapport à une simple cloison en brique.

L'utilisation du polystyrène comme isolant pour les murs extérieurs et aussi pour les planchers à fortement améliorer l'isolation du logement, et donc une utilisation moins importante de chauffage.

Références bibliographiques

1. Document technique réglementaire C3.2 : réglementation thermique des bâtiments d'habitation.
2. Catalogue des ponts thermiques. Editions : Office fédéral de l'énergie OFEN 2003
3. N. MOREL et E. GNANSOUNOU : Energétique du bâtiment. Editions 2009
4. S.AMARA, B.NORDELL. Evaluation des besoins énergétiques de chauffage et climatisation d'un bâtiment pour le site de TLEMCEN. Editions 2007
5. J.DESMONS. aide mémoire génie climatique. Editions Dunod 2009
6. D. BERNSTEIN. Traité de construction durable. Editions le moniteur 2012
7. K.GHANOUNOU. Etude technique d'un bâtiment R+9 avec optimisation thermique. Thèse ENP. 2009