

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Civil

Mémoire de Master en Génie Civil

Etude de l'optimisation thermique d'un logement

Réalisé par :

Islam HACHI

Soutenu publiquement le 29 Juin 2017 devant le jury composé de :

Présidente	Mme	R.MITICHE KETTAB	PR	ENP
Rapporteur	M	R.BOUTEMEUR	M.A.A	ENP
Examineurs	M	M.DEMIDEM	M.A.A	ENP
	M	B.K.BENAZZOUZ	M.C.B	ENP

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Civil

Mémoire de Master en Génie Civil

Etude de l'optimisation thermique d'un logement

Réalisé par :

Islam HACHI

Soutenu publiquement le 29 Juin 2017 devant le jury composé de :

Présidente	Mme	R.MITICHE KETTAB	PR	ENP
Rapporteur	M	R.BOUTEMEUR	M.A.A	ENP
Examineurs	M	M.DEMIDEM	M.A.A	ENP
	M	B.K.BENAZZOUZ	M.C.B	ENP

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تحسين العزل الحراري لمسكن يقع في الجزائر العاصمة منطقة ذات مناخ "A" حسب DTR(C 3.2)

تستند هذه الدراسة على حساب الهدر الحراري وطاقة التدفئة لثلاثة أنواع من الجدران وذلك بهدف تخفيض إستهلاك الطاقة في البناية .

ولقد تم التصميم وفقا للقوانين والمعايير المطبقة في الجزائر (DTR (C 3.2) .

النوع الثاني المدروس أعطى أحسن عزل حراري مقارنة بالنوعين الآخرين.

الكلمات المفتاحية :

دراسة حرارية, تحسين, طاقة التدفئة, العزل, الهدر الحراري.

Abstract

The aim of this work is to study the optimization of the thermal insulation of a dwelling located in Algiers, climatic zone "A" according to D.T.R C3-2.

This study is based on the calculation of heat losses and heating energy for three wall variants in order to reduce the energy consumption in the building.

The design has been established in accordance with current building regulations DTR (C 3.2)

The second variant gives better thermal insulation compared to the other variants.

Key words:

Thermal study, optimization, insulation, heating energy, thermal losses.

Résumé

Le but de ce travail est l'étude de l'optimisation de l'isolation thermique d'un logement qui se situe à Alger, zone climatique « A » d'après le D.T.R C3-2.

Cette étude est basée sur le calcul des déperditions thermiques et l'énergie de chauffage pour trois variantes de murs afin de réduire la consommation d'énergie dans le bâtiment.

La conception a été établie selon les règlements de construction en vigueur DTR (C 3.2)

La 2^{ème} variante étudiée a donné une meilleure isolation thermique que les deux autres.

Mots clés :

Etude thermique, optimisation, isolation, énergie de chauffage, déperditions thermiques.

DEDICACES

Je dédie chaleureusement ce mémoire de master :

A mes très chers **parents**, qui m'ont tout donné et consacré leur vie pour ma réussite, m'ont encouragé et soutenu tout au long de ma vie, que Dieu les protégés.

A ma sœur pour son aide et son encouragement.

A ma famille.

A tous mes amis.

Islam HACHO

Remerciements

Après avoir rendu grâce à ALLAH le tout-puissant le miséricordieux je tiens à remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document, il s'agit plus particulièrement de :

Monsieur Ramdane BOUTEMEUR mon encadreur pour sa confiance, son suivi, son aide et sa contribution inestimable pour l'accomplissement de ce travail.

Les membres du jury pour avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.

Tout le corps professoral de l'Ecole Nationale Polytechnique qui m'a fait bénéficier d'une formation pluridisciplinaire de haut niveau et très adaptée aux réalités du génie civil.

TABLE DES MATIERES

LISTES DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE	10
CHAPITRE I NOTIONS DE BASE.....	11
I.1 Introduction	12
I.2 Les matériaux d'isolation thermique	13
I.3 Définition du confort thermique.....	14
I.4 Définition du bilan thermique	14
I.4.1 But du bilan thermique.....	15
I.4.2 Déperditions.....	15
I.4.3 Gains.....	15
I.4.4 Délimitation du système.....	16
I.5 Pont thermique.....	16
I.6 Apports d'énergies	16
I.6.1 Ensoleillement.....	16
I.6.2 Occupation des locaux	16
I.7 Modes d'échanges thermiques	16
I.7.1 Rayonnement.....	17
I.7.2 Convection	17
I.7.3 Conduction.....	18
I.8 Echange de chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi	18
I.9 Flux de chaleur.....	19
I.10 Conductivité thermique λ	19
I.11 Résistance thermique.....	20
I.12 Coefficient de transmission surfacique K.	21
I.13 Les déperditions	21
I.13.1 Les déperditions calorifiques	21
I.13.2 Les déperditions calorifiques de base.....	21
I.14 Conclusion.....	21

CHAPITRE II DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE D.T.R C3-2.....	22
II.1 Introduction.....	23
II.2 Objet de D.T.R.C3-2 et domaine d'application	23
II.3 Conventions	23
II.3.1 Conventions de température	23
II.3.2 Conventions d'échanges superficiels.....	23
II.4 Méthodologie	24
II.5 Expressions générales des déperditions.....	24
II.5.1 Déperditions totales d'un logement	24
II.5.2 Déperdition totales d'un volume	24
II.5.3 Déperdition par transmission d'un volume	25
II.5.4 Déperditions par renouvellement d'air d'un volume.....	25
II.6 Vérification et déperditions de référence	26
II.6.1 Vérification réglementaire.....	26
II.6.2 Calcul des déperditions de référence	26
II.7 Calcul des déperditions de base	27
II.7.1 Exigence réglementaire	27
II.7.2 déperditions de base totales	27
II.7.3 déperditions de base pour un volume	27
II.7.4 Température intérieure de base	27
II.7.5 Température extérieur de base	28
II.8 Puissance de chauffage à installer	28
II.8.1 Calcul de la puissance de chauffage.....	28
II.9 Zones climatiques de l'Algérie	29
II.10 Conclusion	30
CHAPITRE III APPLICATION DE LA METHODOLOGIE D.T.R C3-2.....	31
III.1 Introduction	32
III.2 Présentation de l'ouvrage	32
III.2.1 Caractéristiques du logement étudié.....	33
III.2.2 Plancher	33
III.2.3 Maçonnerie	34
III.3 Calcul des déperditions de référence (D_{réf})	35
III.4 Calcul de la conductance K	35
III.4.1 Première variante.....	35
III.4.2 Deuxième variante	39
III.4.3 Troisième variante	40

III.5 Déperdition surfacique par transmission à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur	42
III.6 Déperdition à travers les liaisons D_{li}	43
III.7 Déperditions à travers les parois en contact avec le sol.....	43
III.8 Déperdition à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés D_{lnc}	43
III.9 Vérification réglementaire.....	44
III.10 Calcul des déperditions par renouvellement d'air.	44
III.11 Calcul des déperditions de base D_B.....	46
III.12 Calcul de la puissance de chauffage Q.	47
III.13 Puissance du chauffage Q.	47
III.14 Evaluation technico-économique	48
III.14.1 Avantages et inconvénients des isolants	48
III.14.2 Estimation du coût globale	49
III.15 Conclusion	50
CONCLUSION GENERALE	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 Isolation emprisonnant la chaleur à l'intérieur en hiver et gardant la maison fraîche en été.	12
Figure I.2 Transfert de chaleur par rayonnement.	17
Figure I.3 Transfert de chaleur par convection.	17
Figure I.4 Transfert de chaleur par conduction	18
Figure I.5 L'échange de la chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi.	18
Figure I.6 Différence de température entre deux faces.	19
Figure I.7 Conductivité thermique des différents matériaux isolants.	20
Figure I.8 Calcul de la résistance thermique totale d'une paroi extérieure R_t .	21
Figure II.1 Les différentes déperditions du bâtiment.	24
Figure II.2 Les différents postes de déperdition.	25
Figure II.3 Carte des zones climatiques en Algérie.	30
Figure III.1 Implantation du bâtiment.	32
Figure III.2 Vue en élévation du bâtiment.	32
Figure III.3 Plan étage courant.	33
Figure III.4 Mur extérieur.	34
Figure III.5 Mur intérieur.	34
Figure III.6 Deux parois en briques séparées par un vide d'air.	35
Figure III.7 Deux parois en briques séparées par un panneau en polystyrène.	39
Figure III.8 Deux panneaux de plâtres séparés par un panneau de la laine roche.	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Applications, avantages et inconvénients des différents matériaux isolant	14
Tableau II.1 Résistances d'échanges superficiels	23
Tableau II.2 Coefficients dépendant de la nature du logement et de la zone climatique.	26
Tableau II.3 Les valeurs de la température extérieure de base.	28
Tableau III.1 Coefficients de la zone climatique.	35
Tableau III.2 Résistance R d'un plancher à corps creux vers l'extérieur	36
Tableau III.3 Résistance R pour un mur de façade.	36
Tableau III.4 Résistance R d'un mur de séparation	37
Tableau III.5 Résistance R d'un mur en béton armé	37
Tableau III.6 Résistance R d'un mur de séparation en béton armé	38
Tableau III.7 Résistance R pour un mur de façade.	39
Tableau III.8 Résistance R d'un mur de séparation	40
Tableau III.9 Résistance R pour un mur de façade	41
Tableau III.10 Résistance R d'un mur de séparation	41
Tableau III.11 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (1ère variante)	42
Tableau III.12 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (2ème variante)	42
Tableau III.13 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (3ème variante)	43
Tableau III.14 Résumé les résultats obtenus	46
Tableau III.15 Résultats des déperditions de base pour chaque variante	46
Tableau III.16 Puissance de chauffage pour les trois variantes	47
Tableau III.17 Avantages et inconvénients des isolants	48
Tableau III.18 Estimation de coût pour le mur de façade (1 ^{ère} variante)	49
Tableau III.19 Estimation de coût pour le mur de façade (2 ^{ème} variante)	49
Tableau III.20 Estimation de coût pour le mur de façade (3 ^{ème} variante)	49

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation des prix de l'énergie depuis 1985 a nécessité de rationaliser la consommation de cette dernière dans l'habitat, et ceci fait appel à une sérieuse intervention pour dire stop au gaspillage d'énergie.

C'est seulement à partir de 1997 que l'on a commencé à se préoccuper en Algérie des questions d'isolation thermique, Il est indispensable avant de construire un bâtiment d'étudier ses échanges thermiques avec le milieu extérieur et ceci en vue d'assurer le confort thermique à ses occupants d'où l'intérêt de faire une étude thermique.

Pour maintenir la température de confort souhaitée dans un bâtiment, il faut apporter de la chaleur, grâce au chauffage et aussi aux apports solaires. Mais comme la chaleur ne cesse de sortir aux travers des parois, il faut apporter autant de chaleur que celle qui s'échappe. La solution est de prévoir une isolation thermique des parois du bâtiment qui permet de réduire très fortement les pertes de chaleur. Ainsi, avec moins de pertes, moins de chaleur est nécessaire pour chauffer les locaux.

Pour tenir compte des deux facteurs à la fois : caractéristiques thermiques et coût, il est impératif de faire une optimisation des remplissages pour différentes variantes. Les méthodes de calcul, sont basées sur l'évaluation des déperditions calorifiques à travers les parois, par l'application de la réglementation thermique (D.T.R.C.3-2), qui est suffisante pour trouver des solutions admissibles pour l'isolation thermique.

Dans le cadre de ce projet, nous avons procédé au calcul de déperdition d'un logement dans un bâtiment à usage d'habitation, implanté dans la wilaya d'Alger une zone climatique A. Ce mémoire de master est constitué de 3 chapitres.

- ✓ Le premier chapitre traite des notions de base sur l'isolation thermique.
- ✓ Le deuxième chapitre présente la méthodologie de Document Technique Réglementaire.
- ✓ Le troisième chapitre illustre l'application du document technique D.T.R C3-2, suivi par une conclusion générale.

CHAPITRE I

NOTIONS DE BASE

I.1 Introduction

On peut définir l'isolation thermique d'une manière simple comme une protection de la structure contre des facteurs climatiques (variation de température, courant d'air...) qui peuvent influencer sur le confort des usagers soit en période d'été (climatisation) ou bien en hiver (chauffage).

Une bonne isolation augmente donc le confort, hiver comme été, et permet de faire des économies de chauffage ou de climatisation importantes. L'investissement dans des travaux d'isolation est souvent récupéré en quelques années. En effet, environ la moitié de notre facture énergétique dans l'habitat est dédié au chauffage [1]

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

1. L'isolation thermique extérieure ou ITE qui consiste à envelopper le bâtiment d'un manteau isolant. Dans l'existant, une isolation par l'extérieur peut être envisagée lors d'une rénovation complète ou un ravalement de façade, après avoir consulté les règles d'urbanisme de la commune [2]

L'isolation extérieure peut être efficace en cas de rénovation complète de façade pour autant qu'il n'y ait pas de contrainte architecturale ou trop de parois vitrées, modénatures, balcons, loggias et autres bow-windows, qui représentent autant de ponts thermiques à traiter et donc de difficultés. Sinon, l'isolation intérieure peut s'avérer plus adéquate (facilité de réalisation) [2]

2. L'isolation thermique intérieure ou ITI sera choisie pour les cas de rénovations dans les appartements.

3. L'isolation thermique est intégrée au matériau porteur. Cette solution permet d'isoler et de construire avec un seul produit porteur et isolant. Elle utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure : béton cellulaire, brique de chanvre, brique de terre cuite avec âme isolante [3].

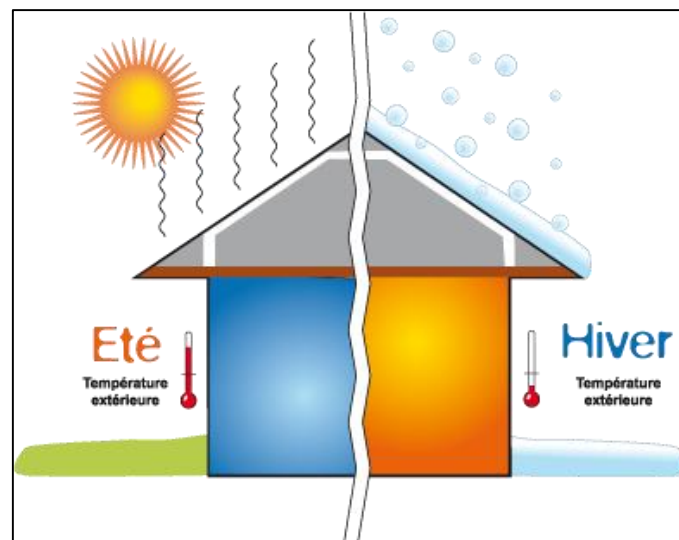


Figure I.1 Isolation emprisonnant la chaleur à l'intérieur en hiver et gardant la maison fraîche en été.

I.2 Les matériaux d'isolation thermique

Quand la structure de construction n'est pas suffisante pour assurer le maintien de la température intérieure, il est essentiel de l'isoler. L'isolation est la priorité n°1 dans un projet de rénovation, d'où la nécessité d'un choix judicieux des matériaux isolants.

On distingue 4 grandes familles de matériaux isolants :

- Les isolants minéraux : laine de verre, laine de roche, vermiculite, perlite, verre cellulaire, argile expansée.
- Les isolants plastiques alvéolaires : polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane.
- Les isolants à base végétale ou animale : liège expansé, fibre de bois (ou laine de bois ou bois feutré), fibre de coco, copeaux de bois, ouate de cellulose, lin, chanvre, laine de mouton, plumes de canard, panneaux de textile recyclé...
- Les compléments d'isolation : les films minces dits «réfléchissant», également trouvés sous l'appellation «isolants minces». Ils fonctionnent essentiellement à partir de la propriété qu'à l'aluminium de réfléchir le rayonnement calorifique

Les performances des matériaux isolants

Le pouvoir isolant d'un matériau est principalement assuré par l'air piégé dans les fibres ou des micros-bulles. Plus cet air est sec et immobile, moins la chaleur peut se propager dans le matériau, et plus son pouvoir isolant est important.

Les matériaux isolants sont qualifiés par leurs caractéristiques thermiques :

- La conductivité thermique λ (lambda) qui caractérise l'aptitude d'un matériau à transférer la chaleur par conduction, elle s'exprime en W/m.K. C'est une caractéristique propre à chaque matériau. Plus λ est faible, plus le matériau s'oppose au transfert de chaleur, et plus il est isolant.
- La résistance thermique R, qui s'exprime en m².K/W, et qui s'obtient en faisant le rapport de l'épaisseur du matériau (en mètres) sur sa conductivité thermique λ (en W/m.K). Le pouvoir isolant du produit est d'autant meilleur que sa résistance est élevée.

Tableau I.1 Applications, conductivité des différents matériaux isolant [7]

Matériaux isolants	Type d'isolant	Conductivité thermique [W/m. K]	Applications
Laine de verre	Laine minérale fabriquée à partir de produit naturel (sable)	varie de 0.030 à 0.040	Murs et cloisons / plafonds
Laine de roche	Laine minérale issue d'une roche volcanique (basalte)	0.030 à 0.040	Murs et cloisons / plafonds
Laine de chanvre	Isolant issu de fibres naturelles (chènevotte)	0.039 à 0.040	planchers/ plafond / toitures /murs
Laine de bois	Isolant naturel à base de fibre de bois	0.039 à 0.050	plancher/ plafond/ toitures/ murs
Polystyrène expansé	Isolant fabriqué à base de styrène	0.030 à 0.038	Murs et cloisons / sols et planchers / toitures terrasses

I.3 Définition du confort thermique

Le choix des caractéristiques thermiques de la construction et de ces équipements a pour but de réaliser le confort thermique de l'occupant. Ce confort est défini par un certain nombre d'exigences que nous allons analyser dans cette étude.

Lors de l'installation d'un chauffage dans une structure il faut d'abord déterminer la puissance nécessaire pour assurer une température ambiante suffisante à l'utilisateur (car l'analyse ce fait en fonction d'échange thermique entre l'intérieur et l'extérieur) et prendre en considération l'économie d'énergie.

I.4 Définition du bilan thermique

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

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

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

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

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

I.4.1 But du bilan thermique

Le bilan thermique a pour but de :

- Calculer la consommation d'énergie du bâtiment
- Détecter les points faibles sources de déperdition
- Choisir la solution d'isolation la plus économique
- Corriger ou améliorer l'isolation dans des vieux bâtiments

La chaleur produite dans le bâtiment est :

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

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

I.4.2 Déperditions

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

I.4.3 Gains

- Gains internes
- Gains solaires
- Chaleur restituée

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

I.4.4 Délimitation du système

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

I.5 Pont thermique

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

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

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

- ✓ Augmentation de l'inertie thermique intérieure, donc amélioration du confort d'été et meilleure utilisation de gains solaires passifs en hiver ;
- ✓ Stabilisation de la température de la structure, donc vieillissement plus lent de celle-ci

I.6 Apports d'énergies

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

I.6.1 Ensoleillement

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

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

I.6.2 Occupation des locaux

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

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

I.7 Modes d'échanges thermiques

Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment entraînent des transferts de chaleur du chaud vers le froid. Dans un logement chauffé, l'air chaud se déplace naturellement vers le froid en s'échappant par les ouvertures ou à travers des parois [8].

L'isolation thermique vise à réduire ces déperditions. La chaleur se transmet par :

I.7.1 Rayonnement

Tous les corps solides et liquides émettent, par leur surface de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Si cette énergie rencontre un corps absorbant ses longueurs d'ondes, elle se transforme en chaleur [8].

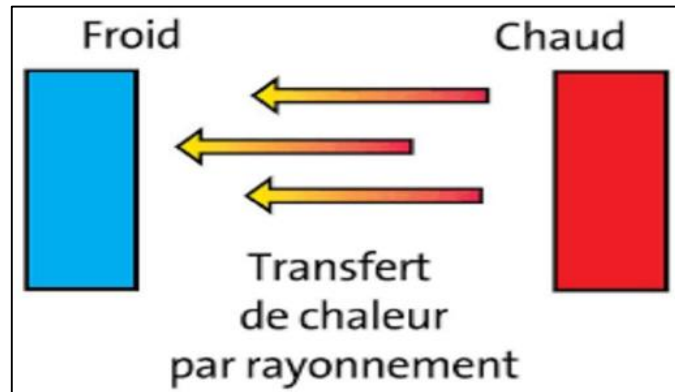


Figure I.2 Transfert de chaleur par rayonnement.

I.7.2 Convection

Ce mode d'échange thermique est propre aux fluides ; les molécules directement au contact d'une surface solide absorbent la chaleur suivant les températures respectives de la surface et des fluides [4].

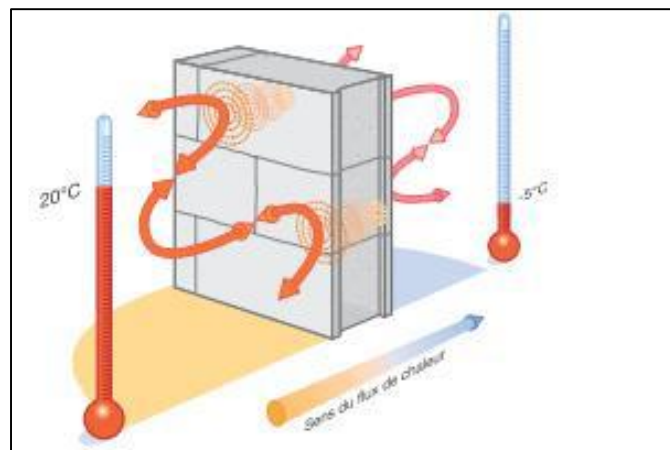


Figure I.3 Transfert de chaleur par convection.

I.7.3 Conduction

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

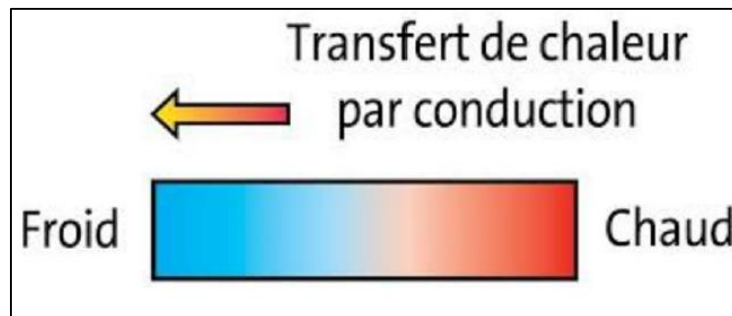


Figure I.4 Transfert de chaleur par conduction

I.8 Echange de chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi

Le phénomène de l'échange de chaleur entre deux ambiances (extérieure et intérieure) de température différente ($T_1 > T_0$), séparées par une paroi, s'effectue par la façon suivante :

La chaleur issue du milieu intérieur est transmise par rayonnement et convection. Elle traverse la paroi par conduction, puis elle est restituée au milieu extérieur par rayonnement et convection [4].

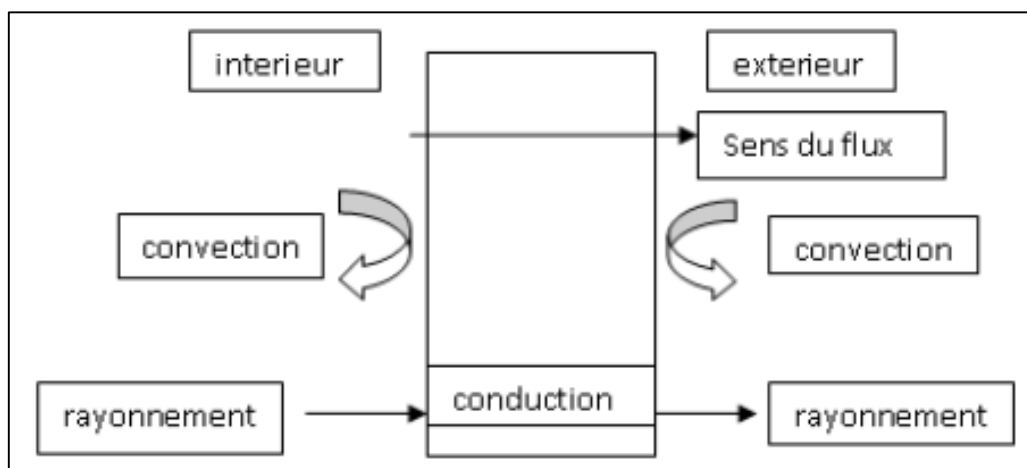


Figure I.5 L'échange de la chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi.

I.9 Flux de chaleur

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

$$\Phi = \frac{Q}{t} \text{ [w/s]}$$

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

Pour le calcul des déperditions de chaleur dans le bâtiment, on rapporte le flux à unité de surface « A ». Ce rapport s'appelle densité de flux (symbole « ϕ ») :

$$\Phi = \frac{Q}{A} \text{ [w/m}^2\text{]}$$

I.10 Conductivité thermique λ

La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériau [5]. Elle indique la quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique :

- en 1 seconde ;
- à travers 1 m² d'un matériau ;
- épais d'un 1 m ;
- lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1°C.

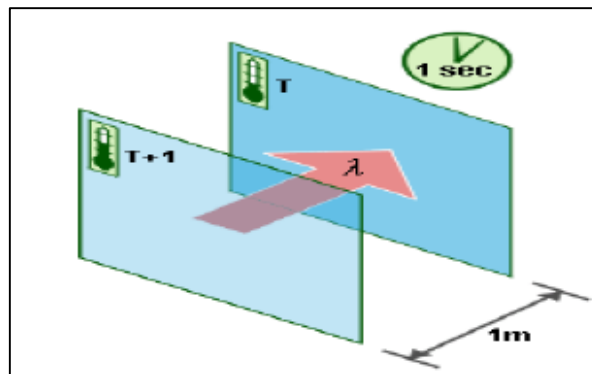


Figure I.6 Différence de température entre deux faces [5]

La conductivité thermique s'exprime en Watt/m.K.

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.

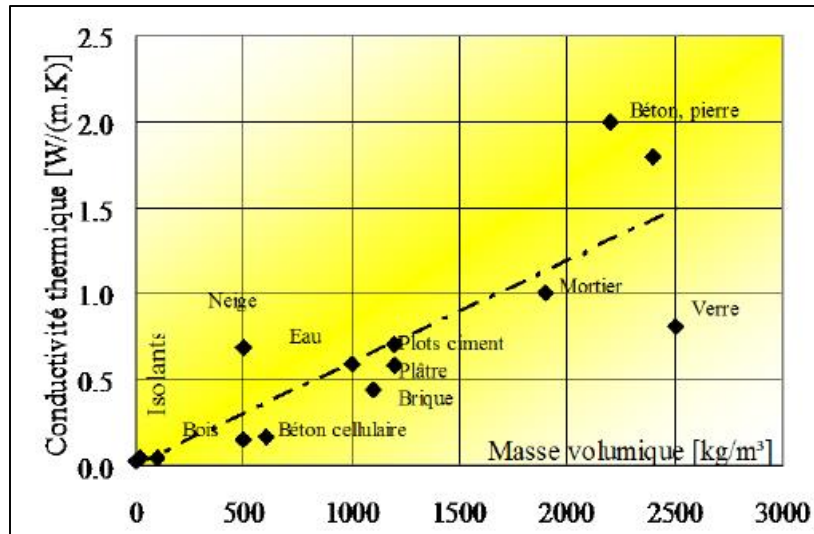


Figure I.7 Conductivité thermique des différents matériaux isolants [5]

I.11 Résistance thermique

La capacité d'un matériau à résister au froid et au chaud est appelée « résistance thermique R », et calculé d'après la formule suivante [6] :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Où :

- e : épaisseur [m].
- λ : conductivité thermique [W/m.K].
- R : résistance thermique [m².K/W].

Remarque :

- Plus l'épaisseur est grande, plus la résistance thermique est grande.
- Plus la conductivité thermique est faible, plus la résistance thermique est grande.

Résistance thermique totale R_T :

La résistance thermique totale est égale à la somme des résistances des parois et des résistances superficielles [6].

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$$

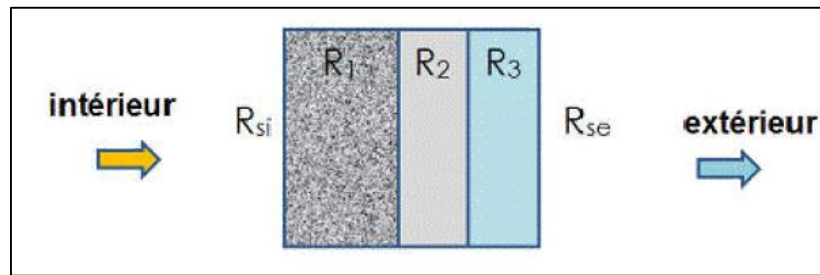


Figure I.8 Calcul de la résistance thermique totale d'une paroi extérieure R_T [6].

I.12 Coefficient de transmission surfacique K.

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

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

- $\sum R$ exprimée en $[\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}]$ représente la somme des résistances thermiques des différents couches des matériaux constituant la paroi ;
- La somme $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$ $[\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}]$ représente la somme des coefficients d'échanges superficiels, prise conformément aux conventions adoptés (Tableau (1.2) [DTR])

I.13 Les déperditions

I.13.1 Les déperditions calorifiques

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

I.13.2 Les déperditions calorifiques de base

Elles sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, dans les conditions intérieures et extérieures de base. Elles s'expriment en watt $[\text{W}]$

I.14 Conclusion

Faire un bilan thermique et le choix de type des isolants c'est les premières étapes à faire avant de commencer une étude d'optimisation après ces étapes on passe au calcul des déperditions et les vérifications réglementaires.

CHAPITRE II

DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE D.T.R C3-2

II.1 Introduction

Le document technique réglementaire D.T.R (C3-2) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique des bâtiments. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermique des logements pour le problème d'hiver [6].

II.2 Objet de D.T.R.C3-2 et domaine d'application

Le présent Document Technique Réglementaire (DTR) a pour objet de fixer les méthodes de :

- Détermination des déperditions calorifiques ;
- Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ;
- Conception thermique des bâtiments.

Il s'applique exclusivement aux bâtiments à usage d'habitation.

II.3 Conventions

II.3.1 Conventions de température

Les conductivités thermiques des matériaux et résistances thermiques des éléments de construction sont définies pour une température de 100°C.

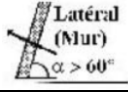
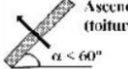
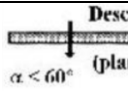
On admet d'ailleurs que la conductivité thermique des matériaux varie peu pour la plage de températures rencontrées dans l'environnement du bâtiment. [6]

II.3.2 Conventions d'échanges superficiels

Par convection et rayonnement, une paroi échange de la chaleur avec les deux milieux séparés par paroi. Cet échange est pris en compte dans les calculs grâce à un coefficient d'échange dit superficiel noté « h ». Ce coefficient s'exprime en [m².°C/W]

Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieurs sont données dans le tableau (tableau II.1) [6]

Tableau II.1 Résistances d'échanges superficiels. [6]

$\frac{1}{h}$ en m ² .°C/W	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e
 Latéral (Mur) α > 60°	0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
 Ascendant (toiture) α < 60°	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
 Descendant (plancher) α < 60°	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

II.4 Méthodologie

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

- ✓ Définir les volumes thermiques ;
- ✓ Calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmissions et les pertes par renouvellement d'air ;
- ✓ Vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de références conformément aux inscriptions D.T.R (C3-2) ;
- ✓ Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage

II.5 Expressions générales des déperditions

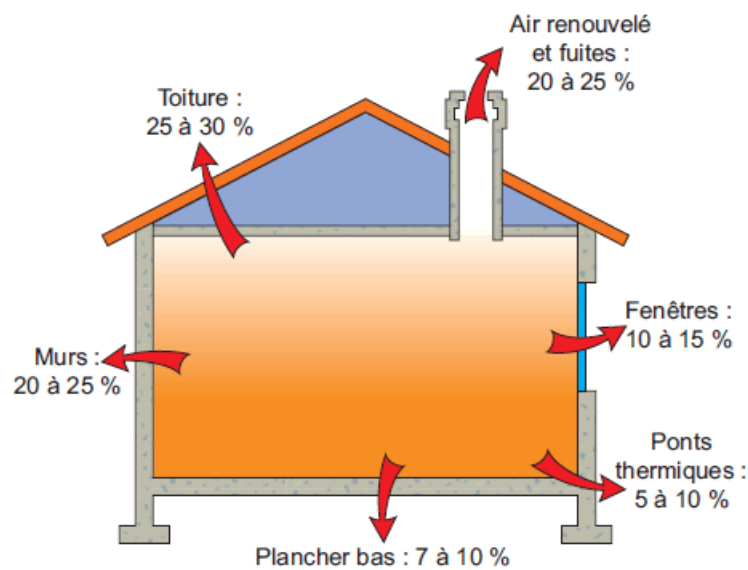


Figure II.1 Les différentes déperditions du bâtiment

II.5.1 Déperditions totales d'un logement

Les déperditions totales D pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques sont données par [6] :

$$D = \sum D_i \text{ [W/ } ^\circ\text{C]}$$

Où : D_i (en $\text{W/}^\circ\text{C}$) représente les déperditions totales du volume i .

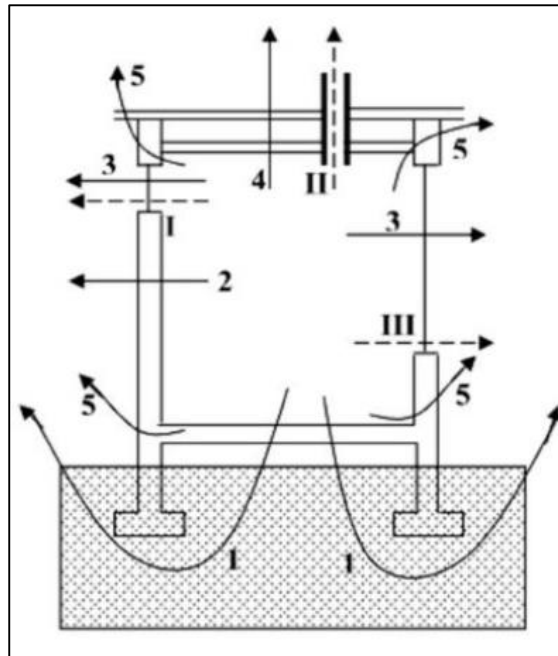
II.5.2 Déperdition totales d'un volume

Les déperditions totales D_i d'un volume i sont données par [6]:

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

Où:

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



Renouvellement d'aire D_R

Sortie d'aire I, II, III

Transmission D_t

Sol	1
Murs	2
Baies	3
Toiture	4
Points singuliers ...	5

Figure.II.2 Les différents postes de déperdition [6]

II.5.3 Déperdition par transmission d'un volume

Les déperditions par transmission $(D_T)_i$ sont données par :

$$(D_T)_i = (D_S)_i + (D_{LI})_i + (D_{SOL})_i + (D_{LNC})_i$$

Où :

- D_S (en $W/^\circ C$) : représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieure.
- D_{LI} (en $W/^\circ C$) : représente les déperditions à travers les liaisons.
- D_{SOL} (en $W/^\circ C$) : représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol.
- D_{LNC} (en $W/^\circ C$) : représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

II.5.4 Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

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

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

Où :

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

II.6 Vérification et déperditions de référence

II.6.1 Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier :

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

Où :

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

II.6.2 Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence D_{REF} sont calculées par la formule suivante

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

Où :

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

Tableau II.2 coefficients dépendant de la nature du logement et de la zone climatique [6]

Zone	Logement individuel					Logement en immeuble collectif				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
A	1,1	2,4	1,4	3,5	4,5	1,1	2,4	1,2	3,5	4,5
B	1,1	2,4	1,2	3,5	4,5	0,9	2,4	1,2	3,5	4,5
B'	1,1	2,4	1,2	3,5	4,5	0,9	2,4	1,2	3,5	4,5
C	2,4	2,4	1,2	3,5	4,5	0,85	2,4	1,2	3,5	4,5
D	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5
D'	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5

II.7 Calcul des déperditions de base

II.7.1 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 le DTR. Pour cela, on doit prendre en compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base.

II.7.2 déperditions de base totales

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

$$D_b = \sum (D_b)_i \text{ [W]}$$

Où :

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

II.7.3 déperditions de base pour un volume

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

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

Où :

- D_i (en $w/^\circ\text{C}$) représente les déperditions totales du volume thermique i ;
- t_{bi} (en $^\circ\text{C}$) est la température intérieure de base du volume considéré;
- t_{be} (en $^\circ\text{C}$) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

II.7.4 Température intérieure de base

La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.

Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

- ✓ Immeuble d'habitation, maison individuelle Pièce principale, pièce de service 21°C ,
- ✓ Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu 18°C ,
- ✓ Bureau chauffé en continu 21°C ,
- ✓ Magasin chauffé en continu 21°C ,
- ✓ Local artisanal chauffé en continu 21°C .

En effet, par souci d'économie, une installation de chauffage n'est jamais calculée pour assurer le confort optimal pour la température la plus basse de tous les minima annuels. Le D.T.R C3-2) introduit une température extérieure de référence, dite température de base. Dans le cas où des locaux ne sont pas chauffés en continu, ils doivent être considérés comme des locaux non chauffés.

II.7.5 Température extérieur de base

a) La température extérieure de base est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an.

b) La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.

c) Le tableau suivant fixe les valeurs de la température extérieure de base :

Tableau. II.3 Les valeurs de la température extérieure de base [6]

ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)	ZONE	Altitude (m)	t_{be} (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000	- 2
	300 à 500	3		≥ 1000	- 4
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	<500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	voir Zone B			

II.8 Puissance de chauffage à installer

II.8.1 Calcul de la puissance de chauffage

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

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

Où :

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

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

Pour un immeuble pourvu d'un chauffage commun, la puissance Q est calculée en effectuant la somme des puissances à fournir pour chaque logement.

La puissance de chauffage Q_i nécessaire pour un volume thermique s'obtient en utilisant la formule (1) et en remplaçant les termes D_T par $(D_T)_i$ et D_R par $(D_R)_i$.

b) Le coefficient C_{in} prend les valeurs suivantes :

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

c) Le coefficient C_r prend les valeurs suivantes :

- 0 pour les installations de type "chauffages individuel",

II.9 Zones climatiques de l'Algérie

On définit pour l'Algérie les zones suivantes :

- 4 zones climatiques et une sous zone au nord.
- 3 zones climatiques au sud

Pour chaque zone, on distingue les sites d'altitude inférieure à 500m, comprise 500 et 1000m supérieure à 1000 m [7]

La zone A : Elle comprend le littoral et une partie du versant nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime)

La zone B : Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que la vallée de chlef (climat méditerranéen continental)

La zone B' : C'est une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra des Braz

La zone C : Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas saharien, avec altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne)

La zone D1 : Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas saharien jusqu'à la latitude 31°

La zone D2 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°

La zone D2 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières sud [8]

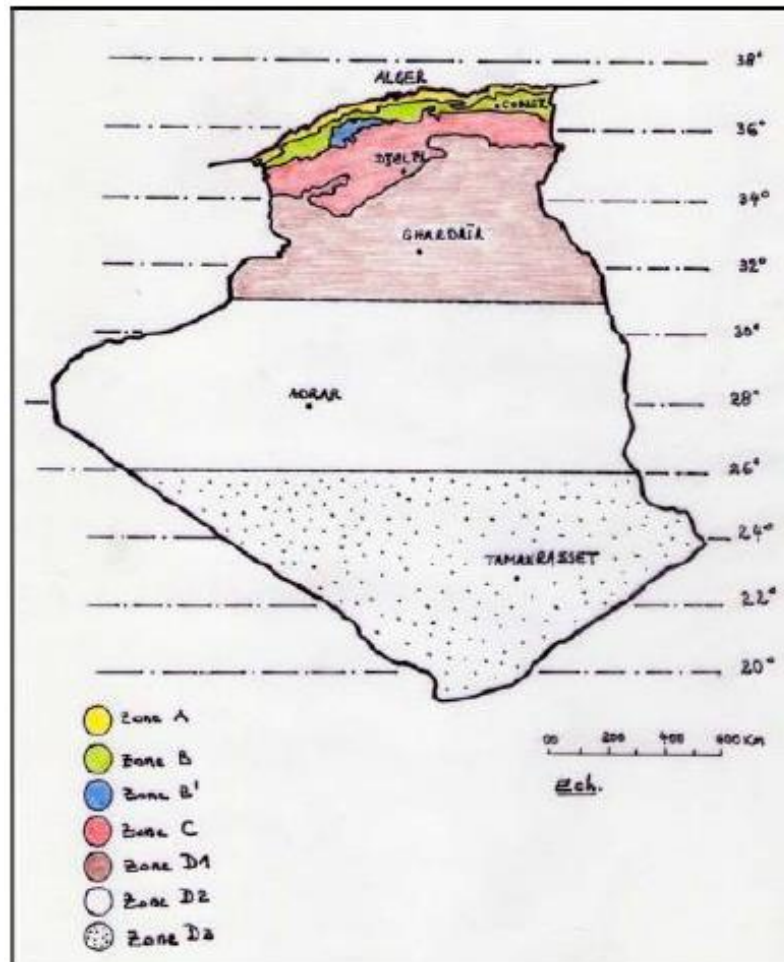


Figure II.3 Carte des zones climatiques en Algérie [8]

II.10 Conclusion

L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (déperditions de référence). Le respect de ce seuil permet une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs [6].

CHAPITRE III

APPLICATION DE LA METHODOLOGIE D.T.R C3-2

III.1 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 pertes de chaleur par les différentes parois du bâtiment (plancher bas, murs extérieurs, plancher haut...) ainsi que par les différents ponts thermiques.

III.2 Présentation de l'ouvrage

Notre projet consiste en l'étude d'un bâtiment (R+15+3SS) à usage multiple. L'implantation du projet est dans la wilaya d'Alger qui est classée comme une zone de forte sismicité (Zone III) d'après les nouveaux règlements parasismiques algériens RPA99 modifié en 2003 et dans une zone climatique « A » d'après le D.T.R C3-2

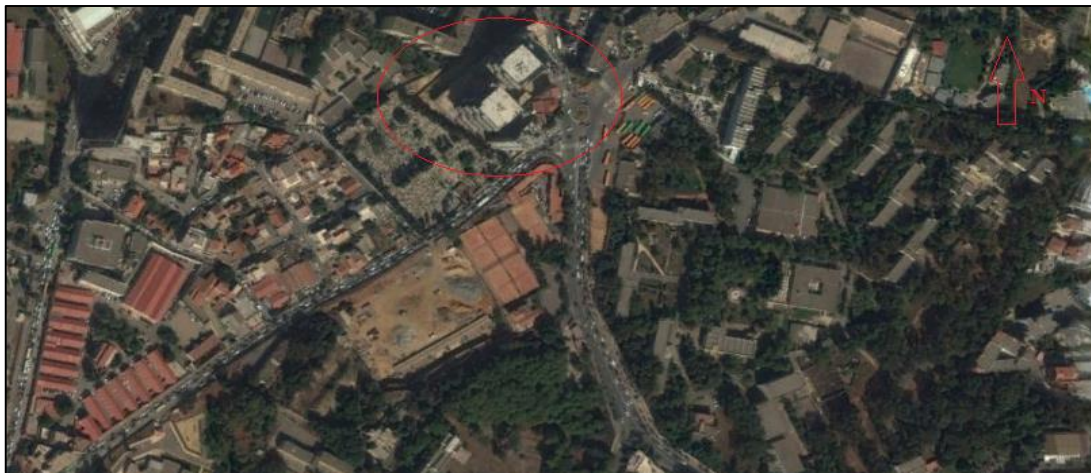


Figure III.1 Implantation du bâtiment.

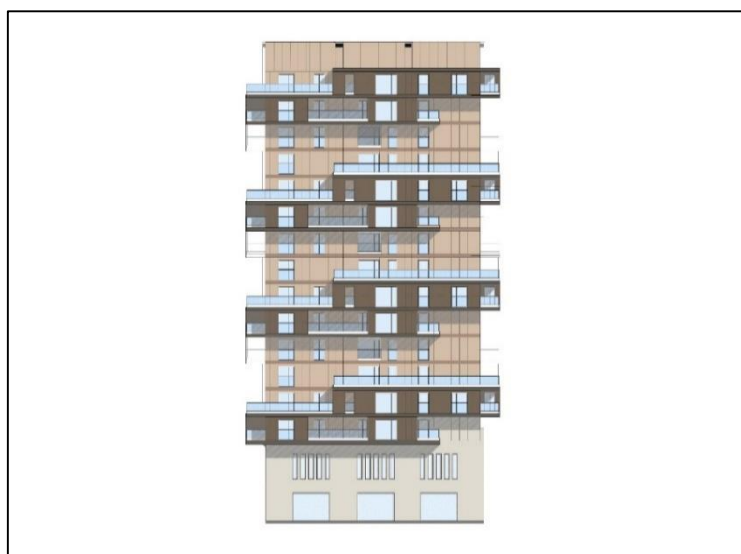


Figure III.2 Vue en élévation du bâtiment.

III.2.1 Caractéristiques du logement étudié

Notre étude pour l'optimisation thermique concerne en premier lieu le logement ou l'appartement le plus sensible aux changements climatiques : C'est le dernier niveau.

Le logement étudié est constitué de 3 chambres, une cuisine et deux salles de bain.

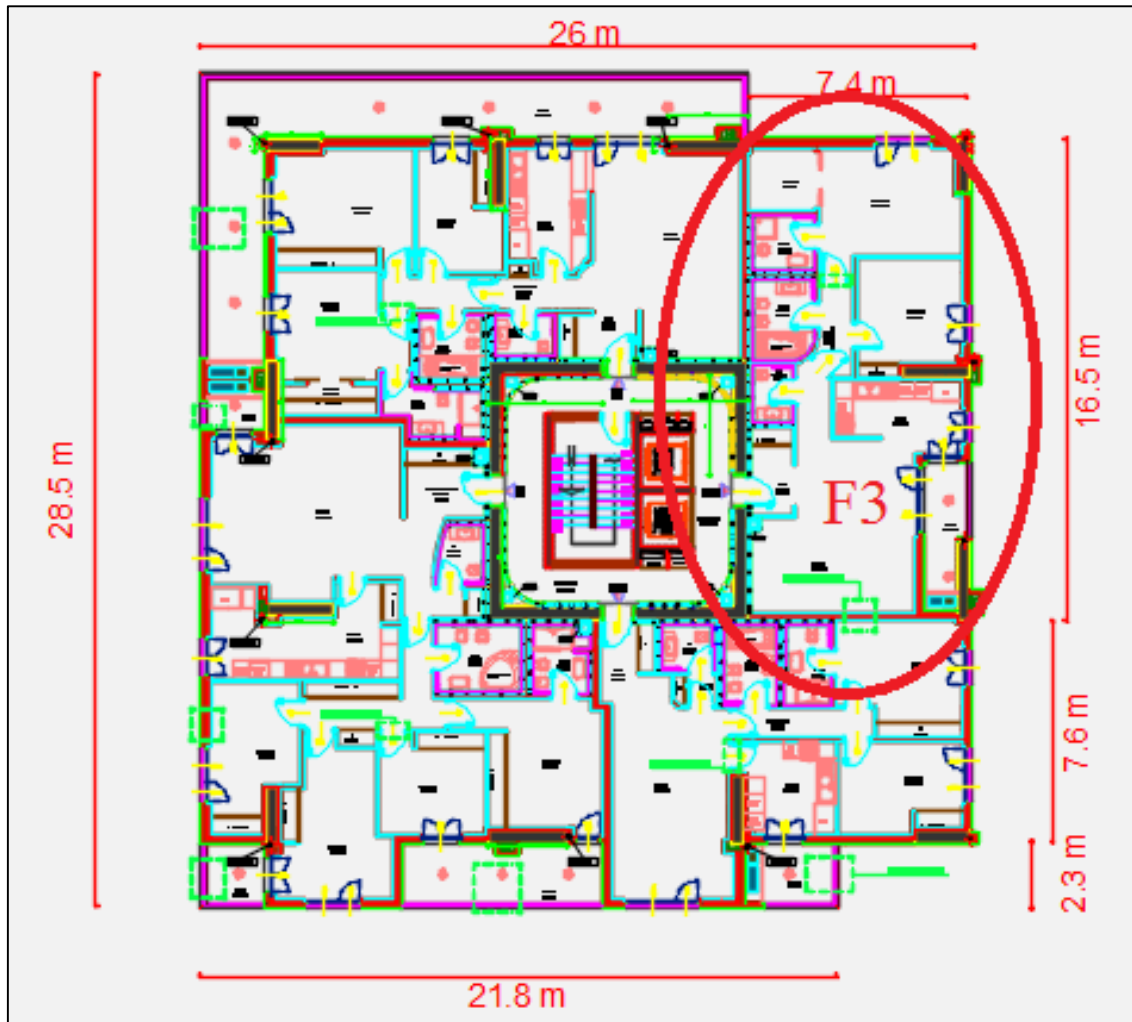


Figure III.3 Plan étage courant

III.2.2 Plancher

Les planchers sont des éléments horizontaux dits "diaphragme" qui assurent la fonctionnalité de l'ouvrage et qui permet la transmission des efforts aux éléments de contreventement.

- Un plancher doit être résistant aux charges verticales et horizontales.
- Un plancher doit assurer une isolation phonique et thermique des différents étages.

Pour notre cas les planchers sont de types dalles pleines dont leurs réalisations permet un gain de temps vue le coffrage approprié et aussi un gain économique.

III.2.3 Maçonnerie

III.2.3.1 Murs extérieurs

Le remplissage des façades est en maçonnerie non rigide ; ce sont des murs à double cloison composés de:

- Une cloison en briques creuses à 12 trous de 12 cm d'épaisseur ;
- Panneaux de polystyrène expansé.
- Une cloison en briques à 8 trous de 8 cm d'épaisseur.

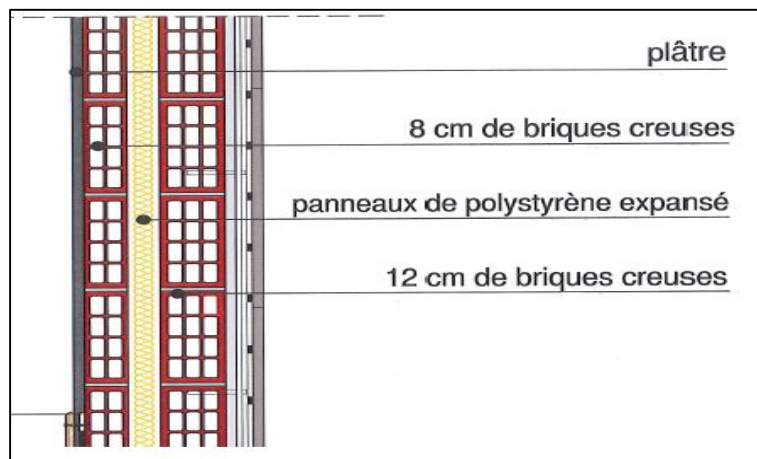


Figure III.4 Mur extérieur

III.2.3.2 Murs intérieurs

- Une cloison en briques creuses à 12 trous de 12 cm d'épaisseur ;
- Panneau de l'aine de roche épaisseur 4cm ;
- Une cloison en briques à 8 trous de 8 cm d'épaisseur.

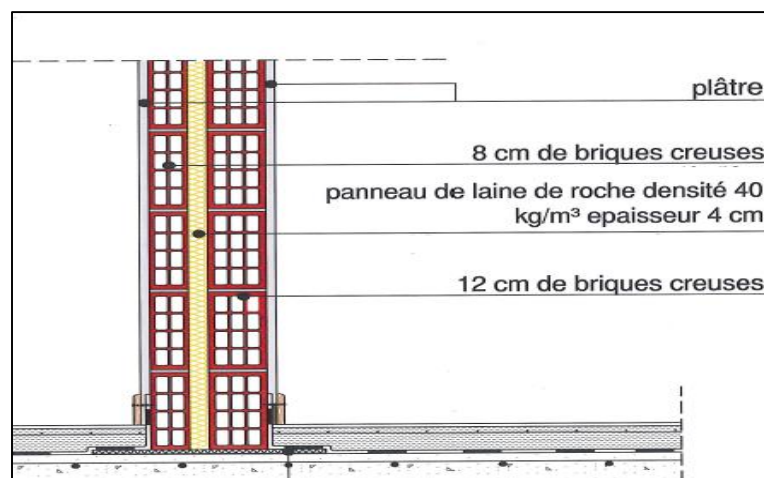


Figure III.5 Mur intérieur

III.3 Calcul des déperditions de référence ($D_{\text{réf}}$)

Les déperditions de référence $D_{\text{réf}}$ sont calculées par la formule suivante [6]:

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

Telle que :

- Surface (toiture) $S_1 = 96.5 \text{ m}^2$
- Surface (plancher bas) $S_2 = 96.5 \text{ m}^2$
- Murs $S_3 = 72.68 \text{ m}^2$
- Portes $S_4 = 1,02 \times 2.14 = 2,18 \text{ m}^2$
- Fenêtres $S_5 = 3 \times 1.35 = 4.05 \text{ m}^2$

Et les coefficients de la zone climatique est dans le tableau suivant :

Tableau III.1 Coefficients de la zone climatique.

Zone	a	b	c	d	e
A	1.1	2.4	1,4	3,5	4,5

Donc :

$$D_{\text{réf}} = 465,35 \text{ W/°C}$$

III.4 Calcul de la conductance K

III.4.1 Première variante

- double cloison brique
- lame d'air de 5 cm

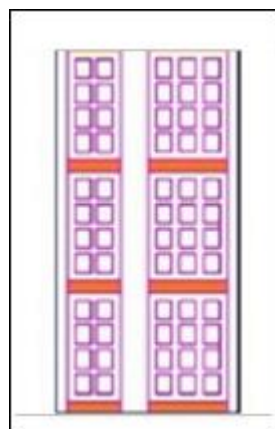


Figure III.6 Deux parois en briques séparées par un vide d'air.

- **Coefficient de conductance K pour le plancher en béton armé vers l'extérieur.**

Tableau III.2 Résistance R d'un plancher dalle pleine vers l'extérieur

Couches	Epaisseur (cm)	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Protection gravillons roulés	5	1,2	0,042
Étanchéité multicouches	2	0,23	0,087
Forme de pente	1	1,75	0,057
Dalle pleine	25	2,4	0,104
Enduit de ciment	1.5	1,4	0,011
Enduit de plâtre	1.5	0.35	0,043
Résistance superficielle	-	-	0,22
			$\Sigma R = 0,554$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 1,805 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- **Coefficient de conductance K pour les murs de façades**

Tableau III.3 Résistance R pour un mur de façade.

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Enduit de ciment	2	1,4	0,014
Brique creuse	12	1,15	0,104
Brique creuse	8	1,15	0,069
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 0,42$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2,38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- **Coefficient de conductance K pour des murs de séparation**

Tableau III.4 Résistance R d'un mur de séparation

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Enduit de ciment	2	1,4	0,014
Brique creuse	12	1,15	0,104
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 0,345$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2,898 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

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

Tableau III.5 Résistance R d'un mur en béton armé

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Béton armé	30	2,4	0,125
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 0,409$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2,445 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

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

Tableau III.6 Résistance R d'un mur de séparation en béton armé

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Béton armé	30	2,4	0,125
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,22
			$\Sigma R = 0,438$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 2,283 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- **Coefficient de conductance K pour les ouvrants**

- Porte donnant vers l'extérieur : $K = 3,5 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ [6]
- Porte opaque de bois donnant vers l'intérieur : $K = 2 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ [6]
- Vitrées nues : $K_{vn} = 5 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ [6]
- fenêtre :

$$\frac{1}{k_f} = \frac{1}{k_v} + r_v$$

$r_v = 0,025 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$ représente la résistance supplémentaire des voilages éventuels [6].

$$K_f = 4.44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

III.4.2 Deuxième variante

- Les murs de façade sont composés de double cloison en brique séparé de 5 cm du polystyrène
- Les murs de séparations sont composés de deux panneaux de plâtre avec polystyrène entre les deux.

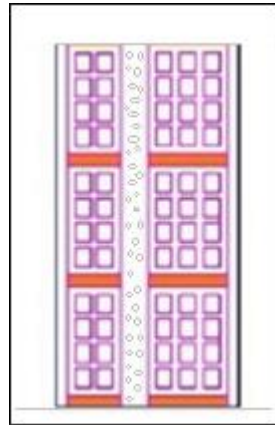


Figure III.7 Deux parois en briques séparées par un panneau en polystyrène.

- **Coefficient de conductance K pour les murs de façades**

Tableau III.7 Résistance R pour un mur de façade.

Couche	e [cm]	λ [W/m · °C]	R [m ² °C/W]
Enduit de ciment	2	1,4	0,014
Brique creuse	12	1,15	0,104
Polystyrène	5	0,038	1,315
Brique creuse	8	1,15	0,069
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 1,729$

$$\text{Donc : } K = \frac{1}{\Sigma R} = 0,578 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- **Coefficient de conductance K pour des murs de séparation**

Tableau III.8 Résistance R d'un mur de séparation

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Panneau de plâtre	2	0,35	0,057
Polystyrène	15	0,038	3,95
Panneau de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R= 4,23$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

III.4.3 Troisième variante

- Les murs de façade sont composés de double cloison en brique séparé de 5 cm de la laine de roche.
- les murs de séparations sont composés de deux panneaux de plâtre avec de la laine de roche entre les deux.



Figure III.8 Deux panneaux de plâtre séparés par un panneau de laine de roche.

- Coefficient de conductance **K** pour les murs de façades

Tableau III.9 Résistance R pour un mur de façade.

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Enduit de ciment	2	1,4	0,014
Brique creuse	12	1,15	0,104
Laine de roche	5	0.05	1
Brique creuse	8	1,15	0,069
Enduit de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 1,4$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0,714 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

- Coefficient de conductance **K** pour des murs de séparation

Tableau III.10 Résistance R d'un mur de séparation

Couche	e [cm]	λ [W/m·°C]	R [m ² °C/W]
Panneau de plâtre	2	0,35	0,057
Laine de roche	15	0.05	3
Panneau de plâtre	2	0,35	0,057
Résistance superficielle	-	-	0,17
			$\Sigma R = 3,284$

Donc : $K = \frac{1}{\Sigma R} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

Une paroi est dite "isolée" si son coefficient K est inférieur ou égal à 1,2 W/m². °C, "non isolée" si son coefficient K est supérieur à 1,2 W/m². °C. [6]

III.5 Déperdition surfacique par transmission à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

La déperdition surfacique est calculée d'après la relation suivante

$$D_s = \sum K_i \times A_i \quad [6]$$

Où :

K_i : (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie,

A_i : (en m^2) est la surface intérieure de chaque partie surfacique, en contact avec l'extérieur.

1ère variante

Les déperditions surfaciques vers l'extérieur sont résumées dans le tableau III.11

Tableau III.11 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (1ère variante)

parois		A_i [m^2]	K_i [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	$A_i \cdot K_i$
Murs	Façade extérieur	14,73	2,38	35,06
	Voile extérieur	7,45	2,445	18,22
Terrasse		96.5	1,805	174,18
Fenêtre		7,02	4,44	31,17

Donc : $D_s = \sum K_i \times A_i = 258,63 \text{ W}/^\circ C$

2ème variante

Les déperditions surfaciques vers l'extérieur sont résumées dans le tableau III.12

Tableau III.12 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (2ème variante)

parois		A_i [m^2]	K_i [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	$A_i \cdot K_i$
Murs	Façade extérieur	14,73	0,578	8,51
	Voile extérieur	7,45	2,445	18,22
Terrasse		96.5	1,805	174,18
Fenêtre		7,02	4,44	31,17

Donc : $D_s = \sum K_i \times A_i = 232,08 \text{ W}/^\circ C$

3ème variante

Les déperditions surfaciques vers l'extérieur sont résumées dans le tableau III.13

Tableau III.13 Calcul des déperditions surfaciques vers l'extérieur (3ème variante)

parois		A _i [m ²]	K _i [W/m ² . °C]	A _i . K _i
Murs	Façade extérieur	14,73	0,714	10,52
	Voile extérieur	7,45	2,445	18,22
Terrasse		96,5	1,805	174,18
Fenêtre		7,02	4,44	31,17

$$\text{Donc : } D_s = \sum K_i \times A_i = \mathbf{234,08 \text{ W/}^\circ\text{C}}$$

III.6 Déperdition à travers les liaisons D_{li}

Les déperditions par pont thermique pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfacique par transmission à travers les parois du logement.

$$\text{Soit : } \mathbf{D_{li} = 0.2 \times D_s}$$

$$\text{Variante 1 : } D_{li} = 51,73 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Variante 2 : } D_{li} = 46,42 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Variante 3 : } D_{li} = 46,82 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Où : **K** et **A** sont respectivement le coefficient de transmission surfacique (en W/m². °C) et la surface intérieure (en m²) de chaque élément de paroi.

III.7 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 :

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

III.8 Déperdition à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés D_{lnc}.

$$D_{lnc} = T_{au} \times \sum K \times A = 0.35 \times 42,6 = 14,91 \text{ [w /}^\circ\text{C]} \text{ (la même valeur pour les trois variantes)}$$

III.9 Vérification réglementaire

Selon le D.T.R (C3-2) la vérification se fait comme suit :

$$D_T \leq 1.05 \times D_{\text{réf}} \text{ [W } ^\circ\text{/C]}$$

On a: $D_{\text{réf}} = 233.75 \text{ W } ^\circ\text{/C}$

Variante 1:

$$DT = 325,27 \text{ W/}^\circ\text{C.} \quad D_T \leq 1.05 \times D_{\text{réf}} = 488,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Variante 2:

$$DT = 293,41 \text{ W/}^\circ\text{C.} \quad D_T \leq 1.05 \times D_{\text{réf}} = 488,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Variante 3:

$$DT = 295,81 \text{ W/}^\circ\text{C.} \quad D_T \leq 1.05 \times D_{\text{réf}} = 488,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour les trois variantes.

III.10 Calcul des déperditions par renouvellement d'air.

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation. La vérification thermique réglementaire ne tient pas compte des déperditions par renouvellement d'air.

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation ; ainsi que les déperditions supplémentaire par infiltrations dues à l'effet du vent.

D'où les déperditions pour renouvellement d'air pour un logement ont pour expression :

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \text{ [w]}$$

Où :

- 0.34 (en W.h/m³ °C) est la chaleur volumique de l'air ;
- Q_v (m³/h) : est le débit spécifique de ventilation ;
- Q_s : est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

➤ **Calcul du débit spécifique de ventilation Q_V :**

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

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

Où :

- V_H (en m^3) désigne le volume habitable.

Tel que: $V_H = h_e \times S = 3,04 \times 96.5 = 293,36 \text{ m}^3$

- $Q_{V \text{ REF}}$ (en m^3/h) le débit extrait de référence.

$$Q_{V \text{ REF}} = \frac{5 \times Q_{V \text{ MIN}} + Q_{V \text{ MAX}}}{6} \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

$$Q_{V \text{ MIN}} = 75 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (\text{en fonction de nombres des chambres})$$

$$Q_{V \text{ MAX}} = 105 + 30 = 135 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Alors : $Q_{V \text{ REF}} = 85 \text{ m}^3 / \text{h}$

$$Q_V = \text{Max} (0,6 \times V_H ; Q_{V \text{ REF}}) = 176,02 \text{ m}^3 / \text{h}$$

➤ **Calcul du débit supplémentaire par infiltrations dues au vent Q_s .**

Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent Q_s pour un logement est donné par la formule [6] :

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

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

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

$$P_{pi} = \sum P_{oj} \times A_j \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

- P_{oj} : (en $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$ sous $\Delta P = 1 \text{ Pa}$) 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 [tab 7.3/D.T.R C3-2]
- A_j (en m^2) surface de l'ouvrant j. [tab 7.4/D.T.R C3-2]

Tableau III.14 Résume les résultats obtenus

Parois	A _j [m ²]	P _{oj}	P _{pi}	e _{vi}	Q _{si}
Porte d'entrées	2,18	6	13,08	5,78	18,86
fenêtres	1,62	4	6,48	5,78	12,26
porte de loggia	1,96	6	11,76	5,78	17,54

Classe de rugosité IV (zone urbaines)

$$Q_s = \sum Q_{si} = 48,66 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) = 76,39 \text{ W}$$

III.11 Calcul des déperditions de base D_B

Les déperditions de base pour un volume thermique ont pour expression :

$$D_{Bi} = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}$$

Où :

- D_i (en W/°C) représente les déperditions totales du volume thermique i;
- t_{bi} : [en °C] est la température intérieure de base du volume considéré;
- t_{be} : [en °C] est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction

Dans notre cas on a :

$$\text{➤ } t_{bi} = 21 \text{ °C}$$

$$\text{➤ } t_{be} = -2 \text{ °C}$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Tableau III.15 Résultats des déperditions de base pour chaque variante

Variante	D _T	D _R	D _i	D _{Bi}
1	325,27	76,39	401,66	9238,18
2	293,41		369,8	8505,4
3	295,81		372,2	8560,60

III.12 Calcul de la puissance de chauffage Q.

- **Théoriquement** : la puissance du chauffage $Q = D_B$;
- **Pratiquement** : compte tenu des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauterie, l'inertie du bâtiment (air et parois), la puissance fournie par une chaufferie doit être supérieure à D_B . $Q > D_B$

III.13 Puissance du chauffage Q.

Cette puissance est donnée par la formule :

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

Où :

- c_{in} : (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance = 0.10 (chauffage continu),
- c_r : (sans dimension) est le ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel = 0.10

D'où : $Q = (23^\circ\text{C}) \times [(1 + 0,1) \times D_T + (1 + 0,1) \times D_R]$

$$Q = 25,3 \times (D_T + D_R)$$

Nous aboutissons finalement à la puissance de chauffage mentionnée dans le tableau III.15 pour les trois variantes étudiées.

Tableau III.16 Puissance de chauffage pour les trois variantes

Variantes	D_T [W /°C]	D_R [W /°C]	D_i [W /°C]	Q [W]	D_{Bi}	vérification
1	325,27	76,39	401,66	10162	9238	Vérifiée
2	293,41		369.8	9356	8504	Vérifiée
3	295,81		372.2	9417	8561	Vérifiée

III.14 Evaluation technico-économique

Dans un souci d'économie, le bâtiment à basse consommation ne doit pas engendrer un surcout de construction important par rapport à un bâtiment classique, pour cela, on fait une comparaison technico-économique pour comparer les différentes variantes d'isolations pour 1 m² de murs de façade étudiés précédemment.

III.14.1 Avantages et inconvénients des isolants

Tableau III.17 Avantages et inconvénients des isolants

Isolants	Avantages	Inconvénients
Laine de roche	<ul style="list-style-type: none"> > Bon comportement thermique > Bonne isolation acoustique > Matériau incombustible et résistant au feu > Bonne résistance à la compression (panneaux) > Résistante au vieillissement et à la détérioration (longévité) > Résistante aux micro-organismes et aux insectes > 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) > Energie grise (150 kWh/ m3)
Polystyrène	<ul style="list-style-type: none"> > Excellentes propriétés mécaniques > Sa facilité de mise en œuvre > Bonne performance thermique > Coût faible de ce matériau > Bonne performance thermique > Bonne stabilité dimensionnelle > Imputrescible 	<ul style="list-style-type: none"> > Mauvaise stabilité dimensionnelle à long terme > Énergie grise importante (énergie nécessaire pour la production du matériau) > Dégradation des caractéristiques en cas de longue exposition aux U.V > Ressource non renouvelable > Non recyclable

III.14.2 Estimation du coût globaleVariante 1Tableau III.18 Estimation de coût pour le mur de façade (1^{ère} variante)

Couche	Unité	Epaisseur [cm]	Prix unitaire [DA/U]	Coût [DA]
Enduit de ciment	m ³	2	8500	170
Double cloison	m ²	20	2500	2500
Enduit de plâtre	m ³	2	6000	120
				2790

Variante 2Tableau III.19 Estimation de coût pour le mur de façade (2^{ème} variante)

Couche	Unité	Epaisseur [cm]	Prix unitaire [DA/U]	Coût [DA]
Enduit de ciment	m ³	2	8500	170
Double cloison	m ²	20	2500	2500
Panneau de polystyrène	m ²	5	1500	1500
Enduit de plâtre	m ³	2	6000	120
				4290

Variante 3Tableau III.20 Estimation de coût pour le mur de façade (3^{ème} variante)

Couche	Unité	Epaisseur [cm]	Prix unitaire [DA/U]	Coût [DA]
Enduit de ciment	m ³	2	8500	170
Double cloison	m ²	20	2500	2500
Laine de roche	m ²	5	700	700
Enduit de plâtre	m ³	2	6000	120
				3490

III.15 Conclusion

Après avoir fait une comparaison entre les variantes, on peut conclure que :

- ✓ Les trois variantes étudiées vérifient tous la condition réglementaire.
- ✓ La variante 2, avec une puissance de chauffage $Q = 9356 \text{ W}$, donne la meilleure isolation thermique, et donc la plus grande économie de chauffage par rapport aux deux autres variantes. Les constituants de cette variante ont des caractéristiques thermiques qui permettent de minimiser les déperditions calorifiques.
- ✓ La variante 2 est plus coûteuse du fait de l'utilisation du polystyrène. Ce surcoût semble raisonnable et justifiable par la réduction des dépenses d'énergie dans le chauffage à long terme.

CONCLUSION GENERALE

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

D'après cette étude et les résultats trouvés, nous avons vu l'intérêt de faire une étude thermique, pour des variantes de murs, ceci pour économiser les besoins de chauffage.

La « Variante 2 » qui utilise le polystyrène comme isolant pour les murs de remplissage donne une meilleure isolation thermique. Elle minimise ainsi les déperditions calorifiques ; et permet donc d'économiser l'énergie de chauffage.

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

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz**, ' Etude Thermique d'un Habitat Pour l'Adaptation au Climat Local. Effet de l'Isolation Thermique '. Revue Internationale d'Héliotechnique Energie, Environnement N°36B 8-13. 2007.
- [2] **Thierry Gallauziaux, David Fedullo**, 'L'isolation par l'extérieur,' Eyrolles, Les cahiers du bricolage, 88 pages, 05/01/2010, EAN13 : 9782212126396
- [3] **Thierry Gallauziaux, David Fedullo**, 'Le grand livre de l'isolation ; Solutions thermiques, acoustiques, écologiques et hautes performances ' Eyrolles, 678 pages, 08/12/2011 (3^e édition), EAN13 : 9782212132694
- [4] **Ana-Maria Bianchi, Yves Fautrelle, Jacqueline Etay**, 'Transferts thermiques', Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Agence universitaire de la Francophonie, 550 pages, 09/12/2004, EAN13 : 9782880744960
- [5] **Jean-Pierre Oliva**, 'L'isolation thermique écologique, Conception, matériaux, mise en œuvre', Guide (broché). Paru en 03/2010
- [6] Document Technique Réglementaire (D.T.R. C 3-2), Réglementation thermique des bâtiments d'habitation ; Règles de calcul des déperditions calorifiques 1997.
- [7] **S.DJENAS** Elaboration des zones climatiques en Algérie, PFE, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) 1984
- [8] **J.BOREL** Application du règlement de la construction en Algérie définition des zones climatiques, cahier du CSTB N°57, Paris 1962
- [9] **Mme GUENOUNOU Kahina** projet de fin d'étude « Etude technique d'un bâtiment R+9 avec optimisation thermique », ENP 2009.