

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté du génie de la construction

Département du génie mécanique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

En génie mécanique,

Spécialité : Energétique.

Intitulé du sujet

Evaluation du flux de chaleur à travers les ponts thermiques

Réalisé par :

Slimane SAHEB

Tahar HADIBI

proposé et dirigé par:

Mr.R.NEBBALI

Année universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à Mr R.NEBBALI, notre encadreur, pour son suivi permanent, son aide précieuse qu'il nous a apporté, ainsi que ses orientations et les encouragements qu'il nous a donnés tout le long de notre travail, nous lui sommes reconnaissants.

On remercie également l'ensemble des enseignants du département du génie mécanique, pour leur formation de qualité et leur contribution dans la réussite de notre parcours universitaire, ainsi que tout l'ensemble du personnel de l'Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail. Ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance.

Nous tenons à exprimer également notre profonde gratitude à nos chers PARENTS qui nous ont toujours soutenues et encouragé tout le long de notre parcours d'études, ainsi qu'à tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Résumé :

L'efficacité énergétique est une priorité absolue du secteur de la construction. Pour cette raison, de nombreux bâtiments font l'objet d'un processus d'isolation thermique afin de réduire leur consommation d'énergie. Mais pour de hautes performances énergétiques et des enveloppes de bâtiment bien isolées, l'influence des ponts thermiques sur la consommation énergétique du bâtiment est majeure. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence des ponts thermiques sur les déperditions thermique des bâtiments, à l'aide de la modélisation numérique du champ thermique et des catalogues de ponts thermiques.

Mots clés : efficacité énergétique, isolation thermique, performances énergétiques, ponts thermiques, déperditions thermique.

Abstract :

The energy efficiency is a top priority of the construction sector. For this reason, many buildings are undergoing a process of thermal insulation in order to reduce their energy consumption. But for high energy performance and well insulated building envelopes, the influence of thermal bridging on the building energy consumption is major. The objective of this study is to assess the influence of thermal bridges in heat loss from buildings, using numerical modeling of the thermal field and thermal bridge catalogues.

Key words: energy efficiency, thermal insulation, energy performance, thermal bridging, heat loss.

ملخص :

يعتبر اقتصاد الطاقة المستهلكة أولوية قصوى في مجال البناء. لهذا السبب، تخضع العديد من المباني لعملية عزل حراري لتقليل استهلاكها للطاقة. و لكن لأداء عالي للطاقة وعزل حراري جيد للمباني، فإن تأثير الجسور الحرارية على استهلاك الطاقة في المباني يعد كبيراً. الهدف من هذا البحث هو تقييم تأثير الجسور الحرارية على الخسائر الحرارية للمباني، وذلك باستخدام محاكاة رقمية للحقل الحراري وسجلات الجسور الحرارية.

كلمات مفتاحية : الخسائر الحرارية، الجسور الحرارية، عزل حراري، اقتصاد الطاقة.

SOMMAIRE

Remerciments.....	i
Résumé.....	ii
Sommaire	iii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vi
Nomenclatures.....	ix
Introduction générale.....	1
chapitre I Généralités sur les ponts thermiques	3
I.1 Définition d'un pont thermique.....	4
I.2 Les types de ponts thermiques	5
I.2.1 Ponts thermiques linéaires.....	5
I.2.2 Ponts thermiques ponctuels.....	6
I.2.3 Ponts thermiques structurels.....	7
I.2.4 Ponts thermiques intégrés.....	8
I.3 Facteurs provoquant les ponts thermiques	8
I.4 Conséquences des ponts thermiques	9
I.4.1 Problèmes d'humidité	9
I.4.2 Sensations de paroi froide	10
I.4.3 La détérioration prématurée du bâtiment	10
chapitre II Isolation thermique et traitement des ponts thermiques.....	11
II.1 L'isolation thermique	12
II.1.1 Définition de l'isolation thermique	13
II.1.2 Les types d'isolation thermique	13
II.1.2.1 Isolation extérieur ITE	13
II.1.2.2 Isolation intérieure ITI	14

II.1.2.3	Isolation repartie	14
II.1.3	Critères d'une isolation performante	15
II.1.4	La typologie des isolants thermique	16
II.1.5	Les bienfaits de l'isolation thermique	17
II.2	Traitement des ponts thermique	18
II.2.1	Méthode de traitement des ponts thermiques	18
II.2.2	Détecter un pont thermique	19
II.2.3	Thermographie infrarouge.....	19
II.2.3.1	Vérification de l'isolation avec la thermographie infrarouge	20
II.2.3.2	Principes de la thermographie infrarouge	20
II.3	Solutions pour lutter contre les ponts thermiques	21
II.3.1	Isolation extérieure	21
II.3.2	Isolation intérieure.....	27
II.3.3	Points singuliers	31
chapitre III	Corrélations utilisées dans le calcul des ponts thermiques	32
III.1	Modes de transfert thermique dans le bâtiment	33
III.1.1	Transfert par conduction	33
III.1.2	Transfert de chaleur par convection	34
III.1.3	Transfert de chaleur par rayonnement.....	35
III.2	Propriétés des matériaux	35
III.2.1	Le coefficient de conductivité thermique des matériaux.....	35
III.2.2	Résistance thermique.....	35
III.2.3	Coefficient de transmission surfacique	37
III.3	Principe de calcul des ponts thermiques	37
III.3.1	Coefficients de transmission thermique linéaire	37
III.3.2	Dépensements générés à travers les ponts thermiques.....	39

chapitre IV	Simulations numériques	42
IV.1	L'outil fluent	43
IV.1.1	Présentation du logiciel	43
IV.1.2	Notice d'utilisation	44
IV.2	L'outil gambit.....	45
IV.3	Domaine de calcul	46
IV.4	Le maillage	48
IV.5	Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisées.....	50
IV.6	Conditions aux limites.....	50
IV.7	Simulation numérique	51
IV.7.1	Traitement avec Fluent	51
IV.7.2	Importation de la géométrie (*.msh)	52
IV.7.3	Vérification du maillage importé	52
IV.7.4	Adaptation de l'échelle.....	53
IV.7.5	Choix du model de simulation	53
IV.7.6	Propriétés thermo-physiques des matériaux.....	53
IV.7.7	Conditions d'opération	55
IV.7.8	Critères de convergence	55
IV.7.9	Lancement du calcule.....	56
IV.7.10	Exploitation des résultats.....	56
IV.8	Résultats	57
IV.8.1	Apport de chaleur (Période estivale)	57
IV.8.2	Pertes de chaleur (Période hivernale).....	64
	Conclusion générale	72
	Références bibliographiques	74

Liste des figures

Figure I.1: perte de chaleur à travers un pont thermique.....	4
Figure I.2: ponts thermiques des liaisons	6
Figure I.3: thermiques ponctuels	7
Figure I.4: Pont thermique structurel	7
Figure I.5: ponts thermique intégrés	8
Figure II.1: Répartition des déperditions thermique dans une habitation	12
Figure II.2: Les zones froides dans un pont thermique	19
Figure II.3: Caméra infrarouge.....	20
Figure II.4: Ponts thermiques de liaison visibles avec une caméra infrarouge	20
Figure II.5: L'isolation thermique par l'extérieur : Isolation enterrée	22
Figure II.6: L'ITE et sous-sol.....	22
Figure II.7: ITE murs et plancher sur vide sanitaire.....	23
Figure II.8: Présence des ponts thermiques au niveau des balcons.....	24
Figure II.9: Fenêtre en applique avec isolation par l'extérieur	25
Figure II.10: ITE: continuité avec l'isolation des combles perdus.	25
Figure II.11: ITE des murs et terrasses.	26
Figure II.12: Combles aménageable isolation par l'extérieur	26
Figure II.13: Pont thermique traité par allongement du parcours de la chaleur.....	27
Figure II.14: Liaison de l'isolant murs et plancher haut (combles perdus).....	28
Figure II.15: ITI et terrasse.....	28
Figure II.16: Combles aménagés sur étage chauffé.	29
Figure II.17: Isolation d'un mur de refend.....	30
Figure II.18: Isolation thermique par l'extérieur : les solutions menuiseries	30
Figure IV.1: Coupe vertical d'un plan du logement..	46
Figure IV.2: Vue 3D du modèle à étudier.	47
Figure IV.3: Définition de la géométrie sur GAMBIT.	48
Figure IV.4: Maillage de la géométrie sur Gambit.	49
Figure IV.5: Augmentation de la densité des mailles aux zones de perturbations.....	49
Figure IV.6: Choix de simulation.....	51
Figure IV.7: Importation de la géométrie.....	52
Figure IV.8: Vérification du maillage sous Fluent.....	52
Figure IV.9: Vérification des dimensions.	53
Figure IV.10: Etablir l'équation de l'énergie.	53

Figure IV.11: Propriétés thermo-physiques de la brique creuse.	54
Figure IV.12: Propriétés thermo-physiques du béton armé.	54
Figure IV.13: Propriétés thermo-physiques du polystyrène.....	54
Figure IV.14: Valeurs des conditions aux limites.	55
Figure IV.15: Augmentation des Critères de calcul.	55
Figure IV.16: Choix du nombre des itérations.	56
Figure IV.17: Affichage des répartitions de température dans le modèle.....	56
Figure IV.18: Affichage des résultats numériques.	57
Figure IV.19: Distribution de température à travers la paroi en absence d'isolant	57
Figure IV.20: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne e=2cm (Période estivale).....	58
Figure IV.21: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne e=4cm (Période estivale).....	59
Figure IV.22: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher e=2cm et L=30 cm (Période estivale).....	60
Figure IV.23: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher e=2cm et L=50 cm (Période estivale).....	60
Figure IV.24: Distribution de température à travers la paroi avec isolation externe	62
Figure IV.25: Distribution de température à travers la paroi avec isolation mixte interne/externe (Période estivale).....	63
Figure IV.26: Apports de chaleur (W) à travers la paroi pour différentes dispositions et d'épaisseurs d'isolant (Période estivale).	64
Figure IV.27: Distribution de température à travers la paroi en absence d'isolant	64
Figure IV.28: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne	65
Figure IV.29: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne	66
Figure IV.30: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher e=4cm et L=30 cm (Période hivernale).	67
Figure IV.31: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher e=4 cm et L=50 cm (Période hivernale).	67
Figure IV.32: Distribution de température à travers la paroi avec isolation externe. (Période hivernale)	68
Figure IV.33: Distribution de température à travers la paroi avec isolation mixte interne/externe (Période hivernale).	69
Figure IV.34: Déperdition de chaleur (W) à travers la paroi pour différentes dispositions et d'épaisseurs d'isolant (Période hivernale).....	70

Liste des tableaux

Tableau II.1: les produits d'isolation et leurs usages	17
Tableau IV.1 : Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisées.	50
Tableau IV.2 : Conditions aux limites de la température.....	51
Tableau IV.3: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique en absence d'isolant (Période estival).	58
Tableau IV.4 : Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs (Période estival).....	59
Tableau IV.5: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs et du plancher (Période estivale).	61
Tableau IV.6: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe (Période estivale).....	62
Tableau IV.7: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe/interne (Période estivale).	63
Tableau IV.8: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique en absence d'isolant.	65
Tableau IV.9 : Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs (Période hivernale).	66
Tableau IV.10: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs et du plancher (Période hivernale).....	68
Tableau IV.11: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe.....	69
Tableau IV.12: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation mixte interne/externe (Période hivernale).....	69

Nomenclatures

Notation :	Signification :	Unité :
Φ	Flux de chaleur	W
λ	Conductivité thermique	W/m.K
h	Coefficient de transfert thermique par convection	W/m.K
ΔT	Gradient de température	k
Φ_{cd}	flux de chaleur transmis par conduction	W
Φ_{cv}	flux de chaleur transmis par convection	W
Φ_{ray}	Flux de chaleur transmis par rayonnement	W
σ	Constante de Stefan	W/m.k
ε_p	Facteur d'émission de la surface	-
T_p	Température de surface d'une paroi	K
T	Température du milieu environnant la surface	K
x	variable d'espace dans la direction du flux	M
S	Air de surface	m ²
e	épaisseur	M
R	Resistance thermique	m ² .K/W
U	Coefficient de transmission surfacique	W/m ² .K
Ψ	le coefficient de transmission de pont thermique linéique	W/m.K
χ	le coefficient de transmission de pont thermique ponctuel	W/m.K
A	surface	m ²
L	longueur	m
D_{li}	déperditions à travers un ponts thermique	W
K_l	coefficient de transmission linéique de la liaison	W/m.K
k	coefficient de transmission surfacique	W/m ² .K
h_{ext}	coefficient de convection thermique coté extérieur	W/m.K
h_{int}	coefficient de convection thermique coté intérieur	W/m.K

R_g	Resistance thermique global	$m^2.K/W$
L_{ri}	Longueur retour d'isolant	m
T_{int}	Température coté intérieur	K
T_{ext}	Température coté extérieur	K
C_p	Capacité thermique massique	J/kg.K
ρ	Masse volumique	Kg/m^3
R_{int}	Résistance thermique superficielle intérieure	$m^2.K/W$
R_{ext}	Résistance thermique superficielle extérieure	$m^2.K/W$
2D	Deux dimensions	-
3D	Trois dimensions	-

Introduction générale :

La consommation d'énergie des bâtiments représente environ 40 % de la consommation d'énergie mondiale, par conséquent, l'efficacité énergétique dans les bâtiments est l'un des principaux objectifs pour réduire la demande d'énergie.

La diminution de la consommation énergétique des bâtiments constitue un enjeu majeur de ce début de siècle. La réalisation de bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite le développement d'outils performants d'assistance à leur conception, leur construction et leur maintenance.

Parmi les actions proposées pour la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment on cite l'introduction de l'isolation thermique. En effet, elle permet la réduction de la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation d'un logement d'environ 40%.

La performance des bâtiments passe en premier lieu par la performance de son isolation, néanmoins, plus un bâtiment est isolé, plus les ponts thermiques deviennent les seuls points de passage entre l'extérieur et l'intérieur.

Certains ponts thermiques qui pouvaient jusque là être considérés comme négligeables ne le sont plus, car leur impact sur les déperditions thermiques devient prépondérant. Les ponts thermiques dits structurels, créés par les systèmes d'accroche des isolants ou de leur parement, deviennent ainsi un enjeu majeur de la conception des bâtiments performants, En effet, plus les niveaux d'isolation des parois augmentent, plus la part relative des ponts thermiques dans les déperditions est importante.

Ces problématiques ont également un lien très fort avec les questions d'humidité et de condensation, En effet, dans les bâtiments très isolés, les ponts thermiques deviennent les seuls points froids. Ils concentrent tous les risques de condensation, et les pathologies potentielles qui y sont associées.

A travers cette étude, il sera question de montrer à travers des simulations numériques l'impact des ponts thermiques sur le transfert de chaleur à travers différentes dispositions de parois sujettes à des ponts thermiques.

Le 1^{er} chapitre, présente un bref aperçu des ponts thermiques rencontrés dans le bâtiment. Et définir les différents facteurs qui favorise leurs apparition ainsi leur conséquences.

Dans le 2^{eme} chapitre, consiste à présenter les concepts liés à l'isolation thermique dans le secteur du bâtiment, ainsi que les solutions adaptées pour la minimisation des impacts des ponts thermiques.

Dans le 3^{eme} chapitre, on s'est intéressé aux corrélations utilisées pour l'évaluation des flux de chaleur à travers les ponts thermiques.

Le 4^{eme} chapitre porte sur des simulations numériques ou on présente une étude paramétrique permettant de déterminer les déperditions thermiques à travers un type de ponts thermique au regard de divers dispositions d'isolant.

Finalement, une conclusion générale résumant l'essentiel des résultats de cette recherche.

chapitre I
Généralités sur les ponts thermiques

Introduction :

Un bâtiment forme un système d'échange complexe avec son environnement. Cet échange se traduit sous la forme de flux de chaleur. Le flux prend un sens ou une direction et ce sera toujours dans le sens du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid. Il est également important de remarquer que ce flux prendra toujours le chemin de moindre résistance, et c'est cet acheminement du flux que nous appelons un pont thermique en bâtiment.

Alors qu'est ce qu'un pont thermique ?

I.1 Définition d'un pont thermique

« Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est sensiblement réduite par une absence ou une dégradation locale de l'isolation et donne lieu à d'importantes fuites de chaleur vers l'extérieur. Les ponts thermiques dépendent du système constructif, du niveau et du type d'isolation des parois.» [1]

Les ponts thermiques sont donc des points faibles de l'enveloppe, par lesquels s'écoule localement plus de chaleur que par les éléments adjacents. Ils sont souvent dus à un changement de matériaux, à une modification de la géométrie, à une pénétration ou au raccord de deux éléments de construction.

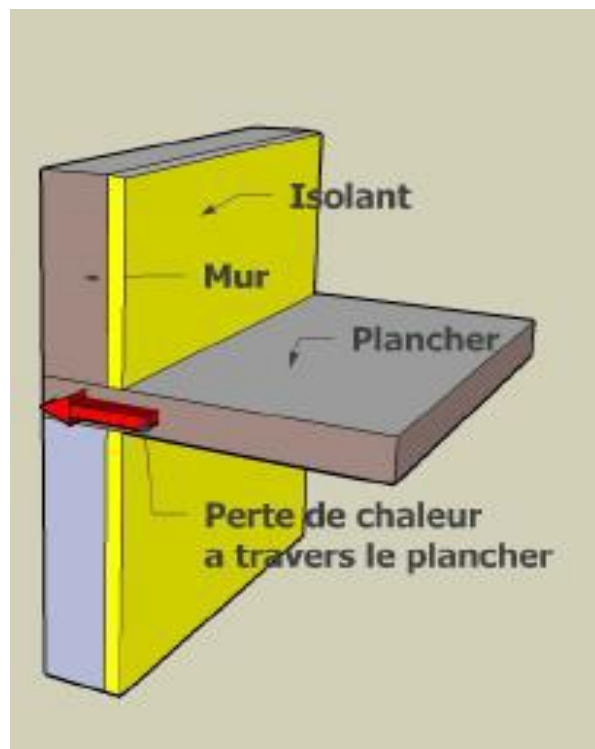


Figure I.1: perte de chaleur à travers un pont thermique. [1]

Ces ponts thermiques se situent à la jonction des matériaux et aux changements de direction de l'enveloppe, nous devons insister sur l'importance de l'étude des détails de construction lors de la phase de conception d'un bâtiment, dont on cite les ponts thermiques sensibles, qui sont les suivants :

- Jonction entre 2 parois.
- Jonction entre une paroi intérieure et une paroi donnant sur l'extérieur.
- Pourtour de fenêtre, portes...
- Ouvertures techniques (prises électriques, serrures...).

I.2 Les types de ponts thermiques

Les ponts thermiques les plus courants sont les ponts thermiques linéaires, mais il existe en réalité 4 différents types de ponts thermiques :

- Ponts thermiques linéaires.
- Ponts thermiques ponctuels.
- Ponts thermiques structurels.
- Ponts thermiques intégrés.

I.2.1 Ponts thermiques linéaires

Également appelé ponts thermiques 2D, ils se trouvent à la jonction de 2 parois de l'enveloppe du bâtiment ou au niveau des changements de plan (vertical/horizontal), d'où, l'interruption de l'isolation au niveau des planchers hauts, planchers bas, des refends fenêtres, portes fenêtres, portes extérieures, et des balcons génère d'importantes pertes de chaleur. On parle alors de ponts thermiques des liaisons ou linéaire.

Un pont thermique linéaire est une perturbation qui se développe sur une longueur et qui génère d'importantes pertes de chaleur. Cette perte de chaleur provoquée est exprimée par le coefficient de transmission thermique linéique Ψ (prononcer: «valeur psi») exprimé en (W/m.k). Ce coefficient est défini comme la déperdition supplémentaire due à une perturbation, d'une longueur d'un mètre, pour une différence de température d'un degré Celsius entre l'ambiance intérieure et extérieure. [2]

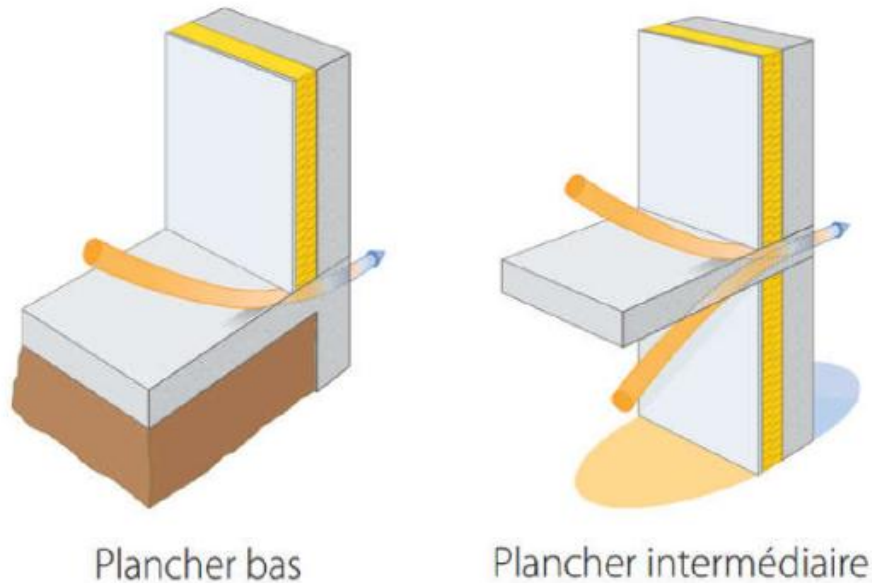


Figure I.2: ponts thermiques des liaisons. [3]

Les ponts thermiques linéaires sont les plus courants. Les principaux endroits où ils peuvent être retrouvés sont les suivants :

- jonction entre le mur extérieur et le plancher bas.
- jonction entre le mur extérieur et le plancher haut.
- jonction entre le mur extérieur et le mur de refend.
- jonction entre le mur extérieur et le plancher intermédiaire.
- jonction entre le balcon et la dalle.

I.2.2 Ponts thermiques ponctuels

Connu aussi sous le terme de pont thermique 3D, car c'est au niveau de la jonction entre trois parois différentes que peuvent être identifiés les ponts thermiques ponctuels. Ils peuvent être identifiés donc au niveau des coins, dans l'angle où se retrouve le sol et deux murs.

Un pont thermique ponctuel est une perturbation qui se réfère à un point. La perte de chaleur provoquée par ce pont thermique est exprimée par le coefficient ponctuel de transmission thermique la valeur χ (prononcer: «valeur chi») exprimé en $W / (m \cdot K)$. La valeur χ est définie comme la déperdition supplémentaire due à une perturbation ponctuelle pour une différence de température d'un degré Celsius entre l'air intérieur et extérieur. [2]

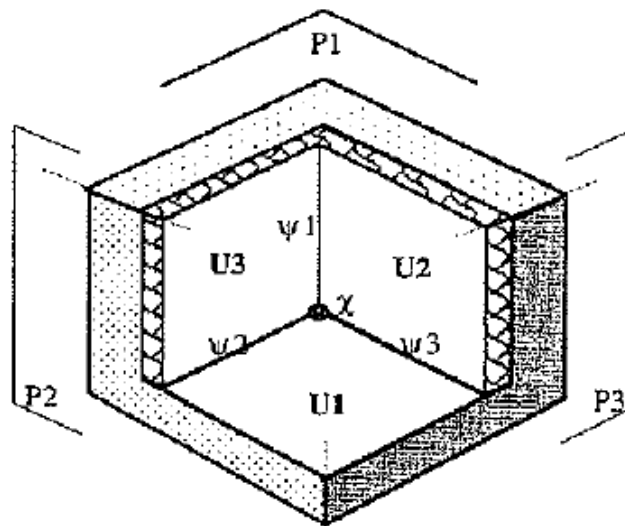


Figure I.3: thermiques ponctuels. [4]

I.2.3 Ponts thermiques structurels

Une paroi est constituée de plusieurs composants assemblés entre eux par collage, vissage ou assemblage mécanique, si leur conception n'est pas correcte, cet assemblage présente autant de petites déperditions intégrées au système, ce problème se pose même lors de fixation des isolants. A titre d'exemple, les tiges métalliques utilisées pour fixer au mur vertical les matériaux d'isolation thermique comme les panneaux de laine de verre créent des ponts thermiques. Donc ils sont liés aussi à la technique de mise en œuvre d'un isolant. [5]

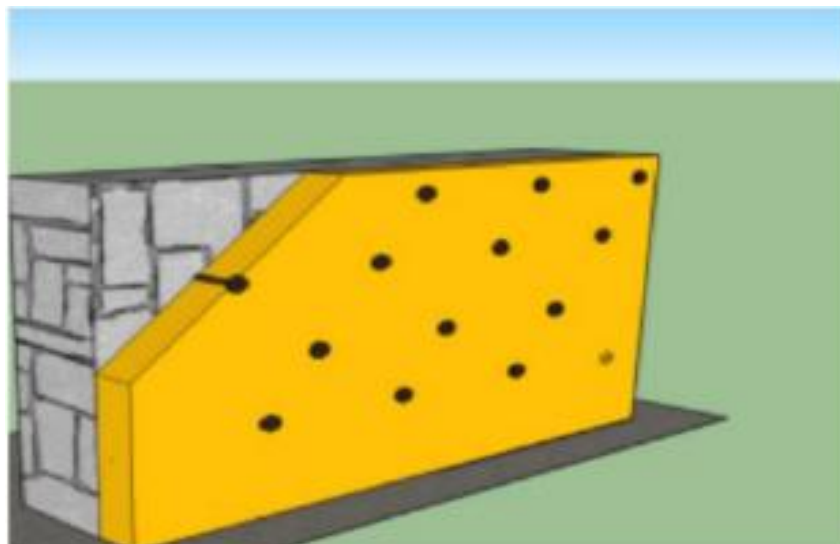


Figure I.4: Pont thermique structurel. [6]

I.2.4 Ponts thermiques intégrés

Ils sont dus à un défaut de conception de la paroi isolante elle-même. En effet, celle-ci étant composée de différents matériaux assemblés entre eux, une mauvaise réalisation de l'assemblage peut être à l'origine du problème. Donc ils sont liés à la technique de mise en œuvre d'un isolant.

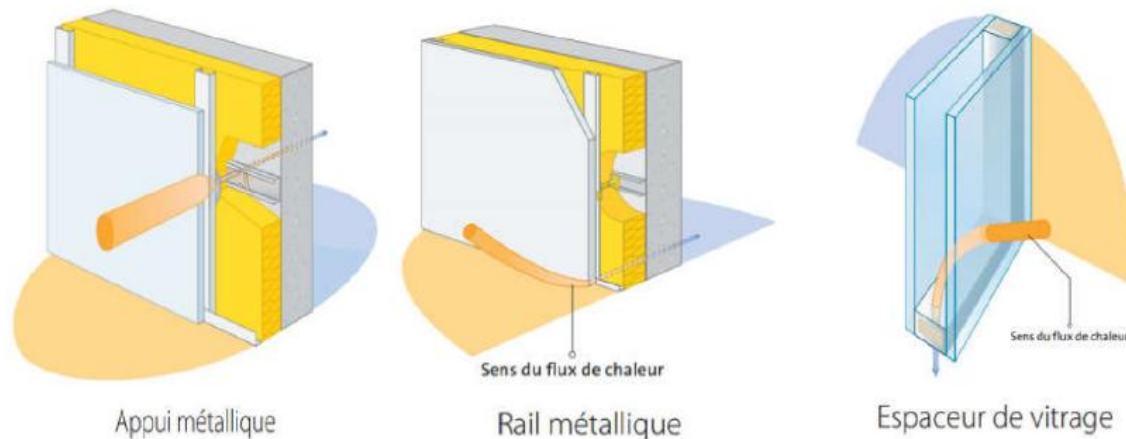


Figure I.5: ponts thermique intégrés. [3]

I.3 Facteurs provoquant les ponts thermiques

L'impact des ponts thermiques dans un bâtiment dépend de plusieurs facteurs : [1]

- **La forme du bâtiment** : les angles sortants et rentrants constituent des ponts thermiques. Un bâtiment de forme simple possède moins de ponts thermiques linéiques qu'un bâtiment plus complexe.
- **Le nombre de niveaux** : chaque plancher intermédiaire peut constituer un pont thermique.
- **La technique constructive** : un bâtiment comportant des dalles de béton ou une charpente métallique présente des ponts thermiques plus importants que des planchers en ossature en bois.
- **La mise en œuvre** : Une isolation traversée par des éléments porteurs (solives, poutres, chevrons, rails métalliques, etc.), sa performance va fortement dégradée en fonction de l'épaisseur et du matériau des éléments traversant.

I.4 Conséquences des ponts thermiques

Dans les habitations anciennes et non isolées, les pertes de chaleur produites par les ponts thermiques représentent en règle générale moins de 20% de la déperdition énergétique globale du bâtiment. À l'inverse, dans un bâtiment plus récent et bien isolé, les ponts thermiques peuvent causer des pertes de chaleur très importantes par rapport à la déperdition énergétique globale du bâtiment.

La conséquence majeure des ponts thermiques dans un bâtiment est les **déperditions** ou les **apports énergétiques** qu'ils entraînent pour un local, en hiver comme en été. En effet, lors de la saison froide, ils entraînent des pertes de chaleur conséquentes que le système de chauffage doit compenser pour que les résidents bénéficient d'une température confortable à l'intérieur du logement. Lors de la saison chaude, le même problème est à prévoir avec la climatisation. En absence de système de climatisation installée, il fera forcément chaud dans les logements du fait de ces ponts thermiques.

Les ponts thermiques peuvent occasionnés :

- les problèmes d'humidité.
- les sensations de paroi froide.
- la détérioration prématurée du bâtiment.

I.4.1 Problèmes d'humidité

Condensation et humidité risquent de s'installer dans le bâtiment. Ces deux conséquences seront ensuite responsables de l'apparition de moisissures, de condensation, de champignons, de mérules, et autres. De plus, un air trop humide n'est pas sain pour les résidents au quotidien, on parle alors d'air vicié. Il est très important dans un tel cas d'aérer de manière conséquente le logement, surtout dans les bâtiments neufs. Les excès d'humidité peuvent être la cause d'allergies chez les personnes les plus fragiles, les vêtements ne seront pas agréables au toucher et des mauvaises odeurs peuvent également se faire ressentir.

Des appareils d'assèchement de l'air comme les déshumidificateurs permettent de lutter en partie contre ces problèmes d'humidité, mais ils ne règlent pas les problèmes à la source. De plus, leur consommation électrique est élevée.

I.4.2 Sensations de paroi froide

Le froid se ressent au niveau des ponts thermiques et donne l'impression que les parois sont froides. Cette conséquence est assez inconfortable pour les résidents. Ainsi, la température de l'air dans la pièce peut tout à fait être agréable mais une différence de température notable pourra se faire ressentir entre l'air dans la pièce et les parois.

I.4.3 La détérioration prématurée du bâtiment

Ne pas lutter contre les ponts thermiques d'un bâtiment peut entraîner de nombreux problèmes comme la détérioration accélérée des matériaux de construction. Une mauvaise isolation rendant un bâtiment plus humide, cette dernière fragilise les matériaux de doublage et les structures poreuses. Les poutres en bois auront tendance à pourrir.

Conclusion :

Les ponts thermiques présentent une menace majeure sur les performances des bâtiments, vu leurs conséquences néfastes qu'ils provoquent, leur traitement s'avère nécessaire pour un confort meilleur et une consommation d'énergie réduite et économique.

Ce chapitre a pour but de donner le sens physique des ponts thermiques et le comportement des matériaux composant l'enveloppe, et les risques qu'ils peuvent générer sur la dégradation des performances des bâtiments.

chapitre II
Isolation thermique et traitement
des ponts thermiques

Introduction :

Avec les différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment, la chaleur transfère du côté le plus chaud vers le côté le plus froid. Un bâtiment perd la chaleur de deux façons : Première façon, il perd la chaleur par transmission à travers toutes ses parois (vitres, murs, toiture, planchers bas) ; deuxième façon, il perd la chaleur par renouvellement d'air. Pour diminuer les déperditions d'énergie, la solution la plus efficace est d'isoler la maison. L'isolation thermique permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître le confort.

Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord, quelque généralité sur l'isolation thermique des habitats, puis proposer des solutions qui minimiseront les problèmes de déperdition de chaleur à travers les ponts thermiques.

II.1 L'isolation thermique

Dès que deux éléments en contact possèdent des températures différentes, il se produit un échange de chaleur entre eux jusqu'à ce que leurs températures deviennent identiques. Le but de l'isolation est de freiner cet échange de thermique, et de permettre ainsi de garder les parois de l'habitation à une température la plus proche possible de celle de l'air intérieur. La répartition des déperditions dans une habitation non isolée est illustrée par la figure (II.1).

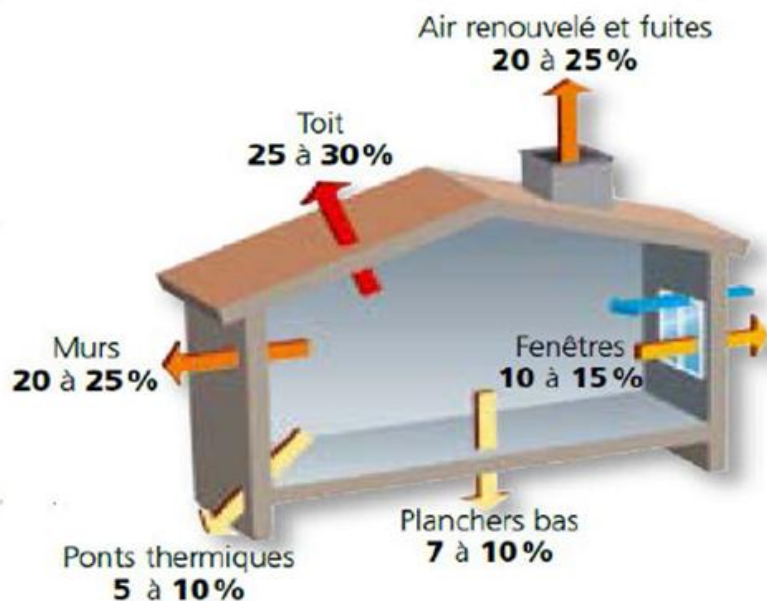


Figure II.1: Répartition des déperditions thermique dans une habitation. [6]

II.1.1 Définition de l'isolation thermique

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. L'isolation thermique est utilisée dans de nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment (maintien d'une température de confort à l'intérieur des habitations), l'industrie, l'automobile, la chaîne du froid. [7]

II.1.2 Les types d'isolation thermique

On distingue trois types de parois : à isolation intérieure, à isolation extérieure, à isolation répartie.

II.1.2.1 Isolation extérieur ITE

Consiste à placer un isolant, un matériau de parement et un enduit sur les murs extérieurs, offre une liberté architecturale pour les façades grâce à une multitude d'aspects extérieurs esthétiques disponibles (matériaux, couleurs, textures). Conserve et valorise le bâtiment. Parmi les isolants utilisés en retrouve :

- Polystyrène expansé ou/et extrudé.
- Laine de verre ou de roche.
- Brique de chanvre.
- Fibre de bois rigide.

II.1.2.1.1 Avantages de l'isolation extérieure :

- Haute performance énergétique.
- Aucune perte de surface habitable, l'épaisseur de l'isolant peut donc être importante.
- Traitement de la majorité des ponts thermiques.
- Finition par extérieur, par conséquent, pas d'installation électrique ou de chauffage.
- Protection durable de l'enveloppe.

II.1.2.1.2 Inconvénients de l'isolation intérieure :

- Mise en œuvre compliquée voir impossible pour certaines façades.
- coût de mise en place élevé.
- Possibilité de réduction de l'entrée de lumière au niveau des ouvrants.

II.1.2.2 Isolation intérieure ITI

Consiste à placer un isolant qui va augmenter la résistance thermique des parois extérieures. Elle est réalisée à l'aide d'un isolant rapporté. Elle consiste à placer l'isolant entre le mur extérieur et la cloison, en général, une plaque de plâtre.

II.1.2.2.1 Avantages de l'isolation intérieure :

- Faible coût de mise en œuvre.
- Mise en œuvre facile et rapide.
- Grande diversité de choix des isolants.
- Réalisation par phase (pièce par pièce).

II.1.2.2.2 Inconvénients de l'isolation intérieure :

- Diminution de la surface habitable.
- Ponts thermiques difficiles à résoudre.
- Isolation par l'intérieur, par conséquent, l'installation électrique et chauffage à déplacer ou remplacer.

II.1.2.3 Isolation répartie ITR

Egalement appelée isolation intégrée, il s'agit d'une technique qui combine le gros œuvre et l'isolation thermique afin d'obtenir un seul matériau à double fonction : devenir à la fois isolant et porteur. Contrairement aux deux autres méthodes d'isolation, l'isolation répartie doit être mise en place dès le début des travaux de la construction, elle est donc uniquement adaptée aux constructions neuves ou aux extensions. Dans le cas d'une isolation répartie, aucun matériau isolant ne vient s'ajouter aux parois déjà en place, les parois disposent elles-mêmes de propriétés isolantes. Les murs sont ainsi à la fois porteurs et thermiquement performants.

Parmi les matériaux les mieux adaptés à l'isolation répartie, on retrouve ainsi :

- les briques alvéolées en terre cuite,
- Les blocs de béton cellulaire,
- Les blocs de pierre ponce.

Avantages de l'isolation répartie :

- **La simplicité** : vous n'avez pas à effectuer de travaux supplémentaires après la construction.
- **Réduction des ponts thermiques** : ce procédé réduit les ponts thermiques et limite la déperdition de chaleur.
- **Un logement plus sain** : c'est un excellent procédé pour lutter contre l'humidité, les moisissures et la condensation. Les matériaux qui sont employés doivent assurer une parfaite étanchéité de l'air.
- **Des matériaux sûrs** : la qualité de l'air demeure préservée, surtout lorsqu'on utilise comme matériau des briques en terre cuite.

Cependant, ce type d'isolation ne présente pas réellement d'inconvénient à part le prix assez élevé des matériaux utilisés que celui des autres procédés d'isolation.

II.1.3 Critères d'une isolation performante

Un habitat bien isolé approuve des économies d'énergie, et baisse les déperditions thermiques de l'enveloppe extérieure, les murs, les sols, les toitures, etc. Ce rendement provient de son épaisseur, son étanchéité allaire et sa continuité.

Que ce soit pour de nouvelles constructions ou bien des rénovations, il faut tenir en compte de trois principaux critères d'isolation, la conductivité thermique (λ), l'épaisseur (e) ainsi que la résistance thermique (R). Ces paramètres sont mis en place par le Document technique réglementaire (DTR) qui définit les exigences minimales à mettre en œuvre sur les équipements et travaux d'isolation.

1) coefficient de conductivité thermique (λ) : détermine le caractère conducteur de l'isolant, c'est-à-dire, la facilité avec laquelle il conduit la chaleur, exprimée en (W/m.°C), Plus sa valeur sera petite et plus son pouvoir isolant sera élevé. Elle est propre à l'isolant et ne dépend pas de l'épaisseur du matériau. Le coefficient λ est un critère à prendre en compte lors du choix de l'isolant.

2) L'épaisseur (e) : joue également un rôle dans la performance de l'isolation. En effet, pour une même conductivité thermique, l'isolant le plus épais permettra une meilleure isolation.

3) résistance thermique (R) : elle représente la difficulté que rencontre la chaleur à traverser une paroi, exprimée en (m².°C /W) , et dépend intégralement de l'épaisseur (e) et de la conductivité thermique (λ) de l'isolant.

On reconnaît un isolant performant à sa résistance thermique (**R**). Plus celle-ci est importante plus l'isolation thermique est efficace. La résistance thermique résulte du rapport de l'épaisseur et de la conductivité thermique du matériau, Soit :

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{II.1})$$

La résistance thermique en vigueur varie en fonction de trois éléments :

- Le type du bâtiment à isoler (neuf ou existant).
- La surface du bâtiment à isoler (combles, murs, sols).
- La zone climatique où se situe le bâtiment.

La résistance thermique conseillée n'est pas la même pour l'isolation de la toiture que pour celle des planchers bas. En effet, les déperditions thermiques varient selon les surfaces. Plus les déperditions de chaleur sont importantes, plus la résistance thermique imposée par le DTR sera élevée.

La **toiture** est responsable de **30 %** de la perte de chaleur d'un logement, les **murs** d'environ **20 %** et le **sol** de **7 à 10 %**. Ainsi, pour atteindre les niveaux d'isolation requis d'un bâtiment Basse Consommation, il faut que les trois conditions suivantes soient remplies simultanément:

- La conductivité thermique du matériau utilisé dans l'isolation des parois du bâtiment est inférieure à 0,12 W/m.°C.
- L'épaisseur du matériau isolant utilisé doit assurer une résistance thermique supérieure à 0,5 m².°C/W.
- La résistance thermique du matériau isolant placé soit par l'intérieur, soit par l'extérieur du bâtiment doit constituer 80 % de la résistance totale de la paroi à isoler, laquelle est calculée sans tenir compte des résistances superficielles.

Les parois ne répondant pas à une des trois conditions ci-dessus sont par convention considérées comme à isolation répartie. [8]

II.1.4 La typologie des isolants thermique

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique, c'est-à-dire un matériau capable d'opposer au flux thermique qui le traverse, une grande résistance thermique de conduction. Il forme une barrière contre les fluctuations de température et apporte ainsi un meilleur confort aux habitations.

Nous pouvons distinguer trois grandes catégories d'isolant :

- Les isolants naturels (chanvre, fibres de bois, etc.).
- Les isolants synthétiques (polystyrène, polyuréthane, etc.).
- Les isolants minéraux (laine de verre, laine de roche, vermiculite, etc.).

Remarque : Il est intéressant de noter que les isolants synthétiques ont des résistances thermiques plus grandes par rapport aux isolants issus de dérivées de produits naturels.

Le tableau (II.1) résume les produits d'isolation et leurs usages.

Produits d'isolations	Conditionnement	Usages les plus fréquents	Conductivité thermique (W/m°C)
Béton cellulaire	Blocs à coller panneaux	Toitures, terrasses, planchers et dalles flottantes	0,33
Mono mur terre cuite	Briques à maçonner ou à joints minces	Combles perdus Murs creux	1 - 1,35
Laines : - minérales - roche - verre	Rouleaux panneaux Vrac	Toitures, planchers et dalles flottantes	0,035
Perlite expansée	Panneaux	Toitures terrasses	0,065
Polystyrène : - expansé (PSE) - extrudé (PSX)	Panneaux	Planchers, Murs, Combles habitables	0.029-0.044
Polyuréthane (PUR)	Panneaux	Toitures, toiture terrasse, doublage des murs, planchers et sols	0,029
Verre cellulaire	Panneaux blocs	Toitures terrasses.	0,063

Tableau II.1: les produits d'isolation et leurs usages. [9]

II.1.5 Les bienfaits de l'isolation thermique

Une bonne isolation thermique supprime l'effet « parois froides » et améliore le niveau de confort pour les utilisateurs du bâtiment, cela par :

- **Plus d'économies d'énergies** : l'isolation permet de réduire les déperditions à travers les parois. Comme en été, l'isolation fait barrière à la chaleur et au rayonnement solaire extérieur donc la réduction d'énergie électrique consommée par le chauffage et le refroidissement.
- **Protection de bâtiment** : l'isolation thermique protège les matériaux de construction du bâtiment vers les changements extérieurs des grandes différences de température pendant la journée, et l'apparition de fissures.
- Maintenir le mobilier à l'intérieur du bâtiment.
- **Réduire le cout des factures** : par la réduction des consommations d'énergie pour le chauffage et / ou la climatisation.

Remarque : l'isolation, avec une ventilation efficace, supprime les risques de condensation qui causent souvent de nombreux désordres (peinture, huisserie...). De plus, elle offre un meilleur confort et une meilleure qualité de vie.

II.2 Traitement des ponts thermique

Il existe des solutions pour éliminer les effets d'un pont thermique. On peut opter soit pour une isolation par l'intérieur, soit pour une isolation par l'extérieur. Chaque méthode présente ses avantages et ses inconvénients.

II.2.1 Méthode de traitement des ponts thermiques

Dans une construction isolé ou mal isolé, la négligence de traitement des ponts thermiques provoque de suite des anomalies et des points faibles qui conduisent à des rénovations peu satisfaisantes :

- Objectifs de consommations non atteints.
- Niveau de confort décevant.
- Zones froides sur lesquelles l'humidité de l'air peut se condenser.
- pourrissement des bois ou oxydation de pièces métalliques.
- Difficultés dans le traitement de l'étanchéité à l'air.

L'idéal est bien sûr de traiter l'ensemble des ponts thermiques. Dans la réalité, ce n'est pas toujours techniquement possible, ni économiquement envisageable (perte de surface intérieure, contraintes liées aux passages de réseaux, aux ouvertures... etc.). Il faut donc

repérer toutes les zones critiques, traiter toutes celles qui peuvent l'être. Plus un bâtiment est isolé et plus les ponts thermiques non traités prennent une part importante.

II.2.2 Détecter un pont thermique

Le pont thermique apparaît quand il y a une absence ou une dégradation de l'isolant thermique à un point de raccordement. On peut ainsi trouver des ponts thermiques un peu partout dans un bâtiment : fenêtres, murs, planchers et toitures sont potentiellement concernés.

Dans les nouvelles constructions, le repérage des ponts thermiques se fait avant leur construction (sur plan), et pour les bâtiments déjà construits ou anciens, l'un des moyens les plus efficaces pour détecter les ponts thermiques est l'utilisation de la thermographie infrarouge. Cette technique utilise une longueur d'onde spécifique qui permet de mettre en évidence sur l'écran d'une caméra thermique les zones froides qui apparaissent alors en rouge [9]. Comme le montre la figure (II-2).

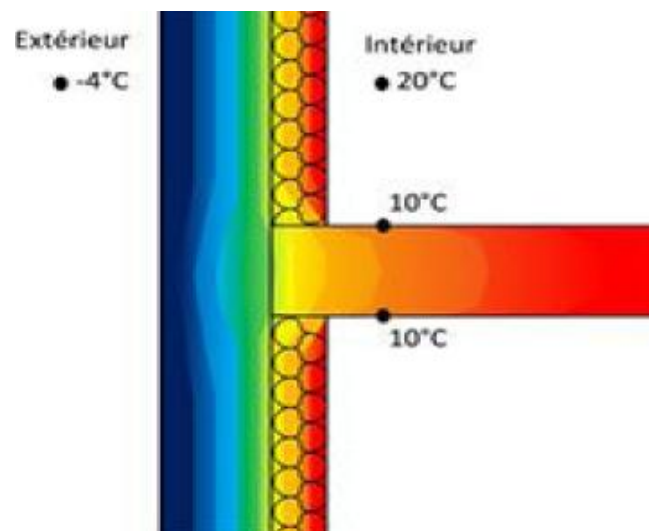


Figure II.2: Les zones froides dans un pont thermique. [10]

II.2.3 Thermographie infrarouge

La thermographie infrarouge appliquée aux bâtiments est une technique qui permet d'obtenir, à l'aide d'une caméra thermique, des images dans le spectre infrarouge afin de détecter des défauts d'étanchéité ou des déperditions thermiques (de chaleur) comme par exemple une isolation défectueuse, une malfaçon, un pont thermique, etc., dans tous les types de constructions récentes ou anciennes. [10]



Figure II.3: Caméra infrarouge.

II.2.3.1 Vérification de l'isolation avec la thermographie infrarouge

La thermographie est l'une des méthodes permettant de détecter les problèmes thermiques d'une habitation. Avec cette technique, il est possible de situer précisément les anomalies, telles que les ponts thermiques (modification du sens du flux), ou les défauts d'isolation. [5]

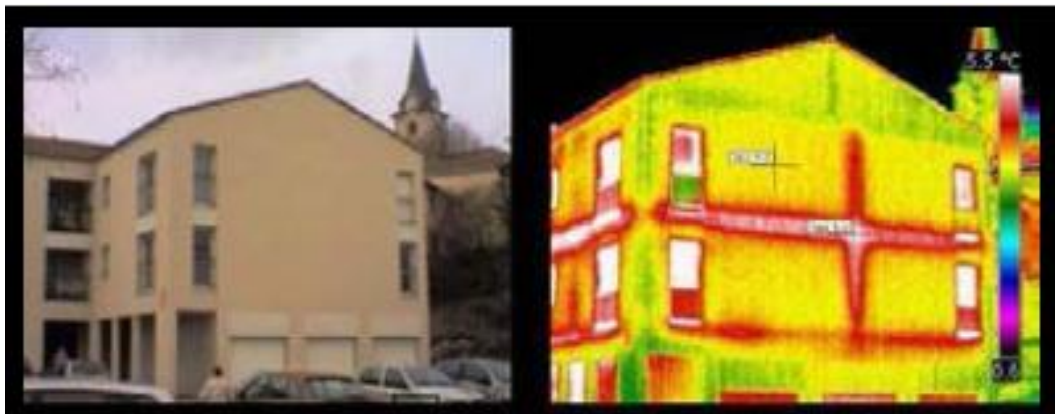


Figure II.4: Ponts thermiques de liaison visibles avec une caméra infrarouge

II.2.3.2 Principes de la thermographie infrarouge

Les ponts thermiques peuvent être responsables de 40 % de déperditions thermiques dans un bâtiment non isolé et de 10 à 15 % dans les cas du bâtiment bien isolé.

- La technologie de la thermographie infrarouge permet de détecter plus précisément les failles laissant échapper la chaleur d'une habitation.
- La caméra permet de vérifier l'homogénéité de la chaleur dans un mur et de déceler la présence de ponts thermiques.

- L'appareil pourra déceler les zones chaudes et froides au niveau des parois et déterminer ainsi les parties où la chaleur s'échappe.

La méthode de la thermographie infrarouge est une méthode passive, qui ne nécessite aucune destruction pour diagnostiquer une habitation et permet de démontrer la qualité d'une construction. Pour les toits, il est nécessaire de faire une thermographie aérienne avec caméra infrarouge.

II.3 Solutions pour lutter contre les ponts thermiques

Il est nécessaire de connaître l'effet des ponts thermiques sur la performance énergétique des bâtiments et sur l'enveloppe des bâtiments. Les ponts thermiques et les dommages qui en découlent peuvent être réduits par une installation d'un isolant soit par l'intérieur ou l'extérieur du bâtiment, malgré qu'ils ne sont pas une fatalité pour limités au maximum leurs effets voir les éliminer.

Pour lutter contre les ponts thermiques, l'isolation peut se faire par :

- La pose d'un isolant sous la chape : celle-ci sera alors désolidarisée avec le mur extérieur.
- La mise en place d'un rupteur thermique qui est un dispositif installé en bout de dalle et qui se positionne donc contre le mur. Il est constitué d'un isolant qui empêche la perte de chaleur.
- L'installation de planelles isolantes qui fonctionnent selon le même principe que les rupteurs thermiques.

II.3.1 Isolation extérieure

L'isolation extérieure (ITE) L'isolation par l'extérieur consiste à envelopper le bâtiment d'un manteau isolant, c'est pour quoi elle est considérée comme la meilleure façon de traiter les ponts thermiques. Cela ne se réalisera, si seulement si elle est absolument continue et elle les prend réellement en compte, en recouvrant toutes les jonctions de parois, les planchers bas, tableaux de fenêtres. [5]

II.3.1.1 Liaison murs extérieurs et plancher bas sur terre-plein

Les règles de l'art imposent de commencer l'isolation extérieure à 15 cm du sol extérieur, mais cela ne traite pas le pont thermique du plancher bas.

Alors la solution à conseiller est l'isolation enterrée. Dont les matériaux utilisés seront résistants à la compression et qui ne peut pas se putréfier ou pourrir (polystyrène extrudé, mousse de verre, liège, etc.). L'isolation sera enterrée sur une profondeur d'au moins deux fois la largeur du mur, profondeur mesurée à partir du sol intérieur fini. Ainsi, pour un mur de 20 cm d'épaisseur, l'isolant rapporté en partie basse devra descendre à minima à 40 cm en dessous du niveau haut du plancher (niveau du sol fini).

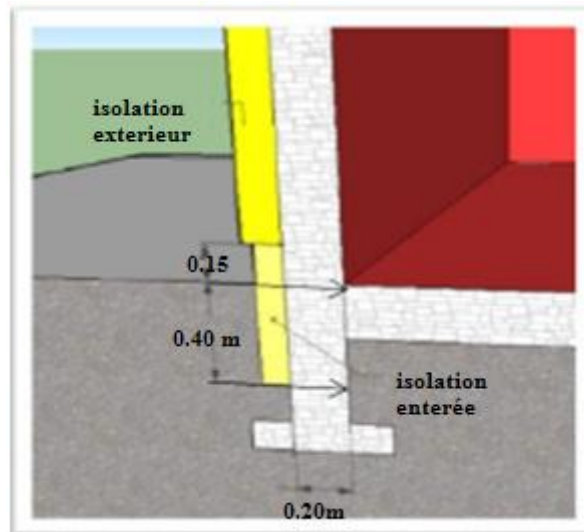


Figure II.5: L'isolation thermique par l'extérieur : Isolation enterrée. [6]

II.3.1.2 Liaison murs extérieurs et plancher bas sur sous-sol non chauffé

L'isolation par l'extérieur doit descendre au minimum 60 cm en- dessous du plancher bas. Celui-ci pourra être isolé en sous face en prévoyant un retour d'isolant vertical de la même longueur sur les murs extérieurs.

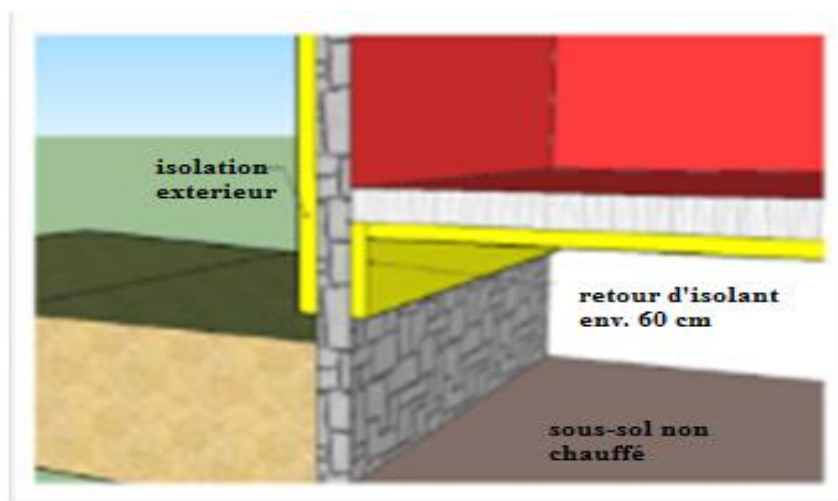


Figure II.6: L'ITE et sous-sol. [6]

II.3.1.3 Liaison murs extérieurs et plancher bas sur vide sanitaire inaccessible

Il faut impérativement descendre l'ITE en-dessous du niveau de la dalle. Celle-ci sera alors isolée par le dessus (dalle flottante, plancher sur isolant, etc.). La solution n'est pas idéale car le pont thermique subsistant reste important. Dans ce cas l'isolation par l'intérieur des murs et du sol est recommandée, notamment si le bâtiment ne comporte pas de plancher intermédiaire.

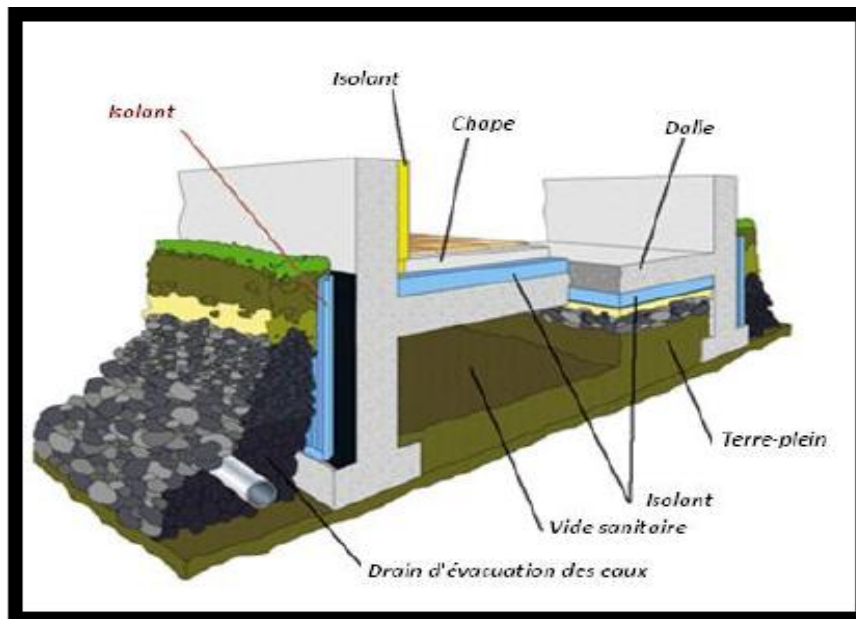


Figure II.7: ITE murs et plancher sur vide sanitaire. [11]

II.3.1.4 Liaison murs extérieurs et balcons

Ce pont thermique est certainement le plus difficile à traiter. Toutefois, On peut envisager :

- La suppression du balcon et éventuellement son remplacement par un élément désolidarisé. Cette solution est néanmoins coûteuse et rarement appliquée.
- Le manchonnage, le balcon étant pris en sandwich entre deux isolants de faible épaisseur. Cette solution présente l'inconvénient majeur de devoir rehausser les seuils des portes ou porte-fenêtre, si ces menuiseries se trouvent au ras du balcon. L'esthétique globale est aussi modifiée.
- Le balcon sera pris entre deux isolants de faible épaisseur. Cette solution présente l'inconvénient majeur de devoir rehausser les seuils des portes ou porte-fenêtre, si ces menuiseries se trouvent au bas du balcon. L'esthétique globale est aussi modifiée.

Au vu des difficultés de traitement de ce pont thermique, il est fréquemment laissé en l'état. Il restera donc une zone froide sujette au risque de condensation dans la pièce concernée par le balcon. Les risques de condensation doivent aussi être pris en compte, par exemple si une salle de bain donne sur le balcon. Comme la figure ci-dessous la démontre.

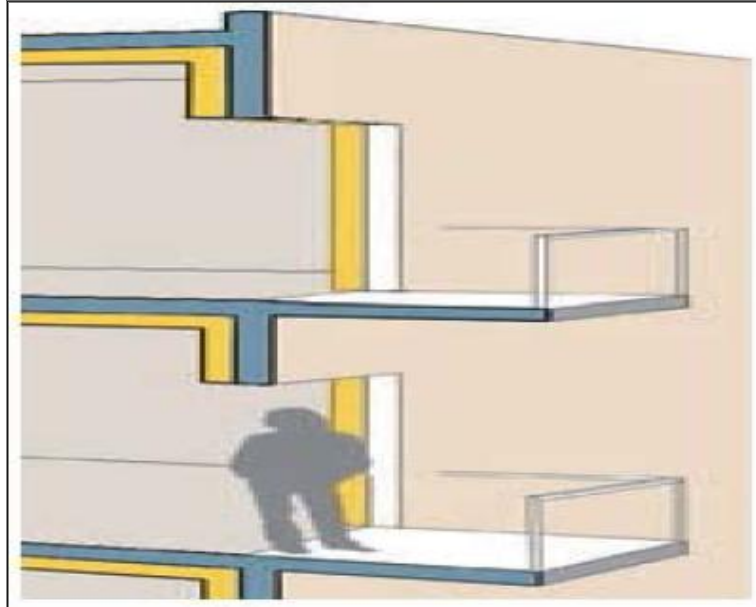


Figure II.8: Présence des ponts thermiques au niveau des balcons. [12]

II.3.1.5 Liaison murs extérieurs et fenêtres

Selon le mode de pose choisi, les liaisons fenêtres/murs généreront des ponts thermiques plus ou moins importants. La solution est la pose en applique sur le mur extérieur, et le recouvrement de la plus grande partie possible des dormant avec l'isolant.

Si les menuiseries ne sont pas changées et se trouvent en tunnel ou en applique au nu intérieur, il faudra prévoir un retour d'isolant au niveau du tableau afin d'assurer la continuité de l'ITE.

Si les menuiseries ne sont pas changées et se trouvent en tunnel ou en applique au nu intérieur, il faudra prévoir un retour d'isolant au niveau du tableau afin d'assurer la continuité de l'ITE.

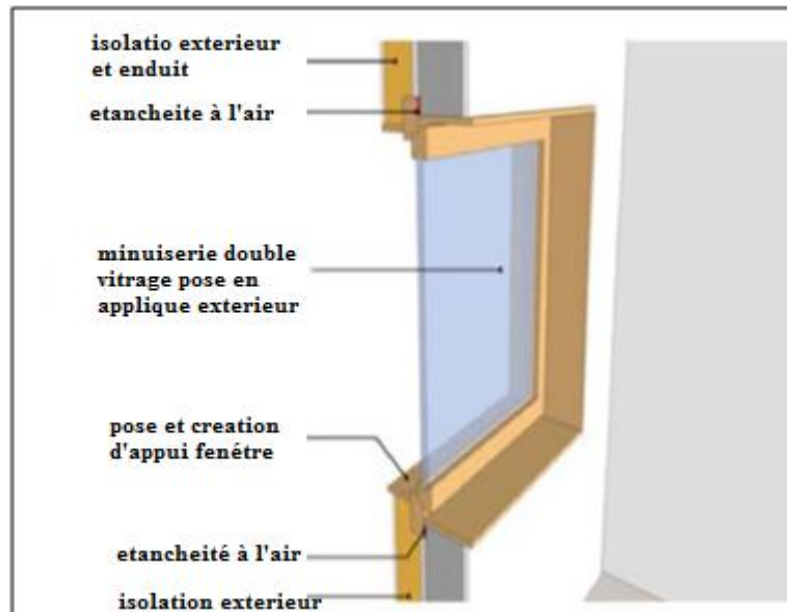


Figure II.9: Fenêtre en applique avec isolation par l'extérieur. [6]

II.3.1.6 Liaison murs extérieurs et planchers hauts : combles perdus

La liaison entre le plancher isolé en combles perdus et l'isolant n'est pas assurée sur les murs pignons. Une remontée d'isolant sur ce mur dans les combles minimisera les déperditions et permettra de réduire les ponts thermiques.

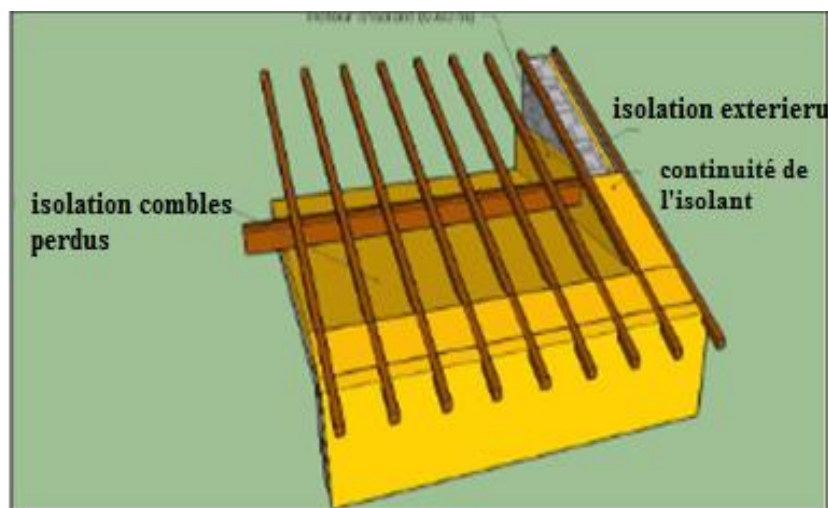


Figure II.10: ITE: continuité avec l'isolation des combles perdus. [6]

Pour la façade gouttereau, une remontée de l'isolant sur la sablière et une ITE arrivant jusqu'en haut du mur est à réaliser impérativement. L'isolation est là pour durer longtemps, il vaut mieux, en cas de présence de caisson de sous toiture, le démonter pour isoler ce volume.

II.3.1.7 Liaison murs extérieurs et planchers hauts (terrasses)

L'isolation de l'acrotère est indispensable sur ses trois faces comme on le voit sur la figure suivante.

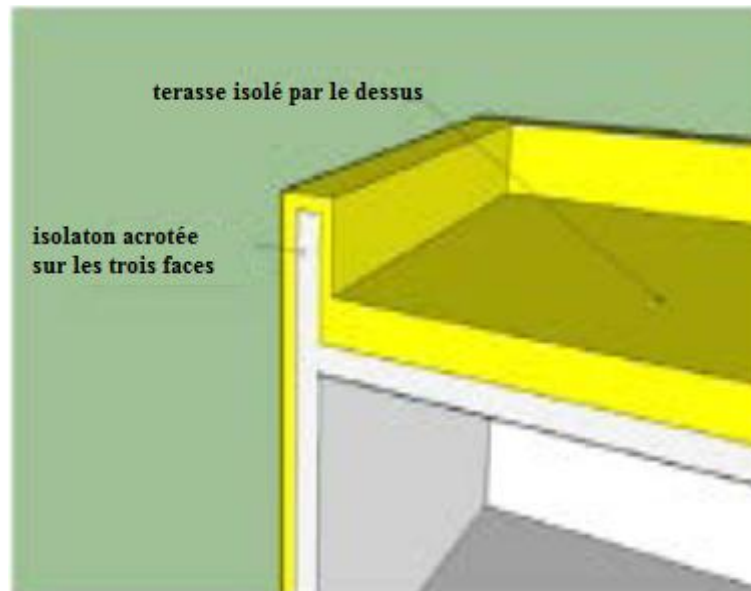


Figure II.11: ITE des murs et terrasses. [6]

II.3.1.8 Liaison murs extérieurs et toiture inclinée : combles aménagés

Solution présentant la meilleure cohérence : le "sarking" (technique d'isolation par l'extérieur de la toiture) se prolongeant par-dessus les murs pour rejoindre l'isolation extérieure des murs.

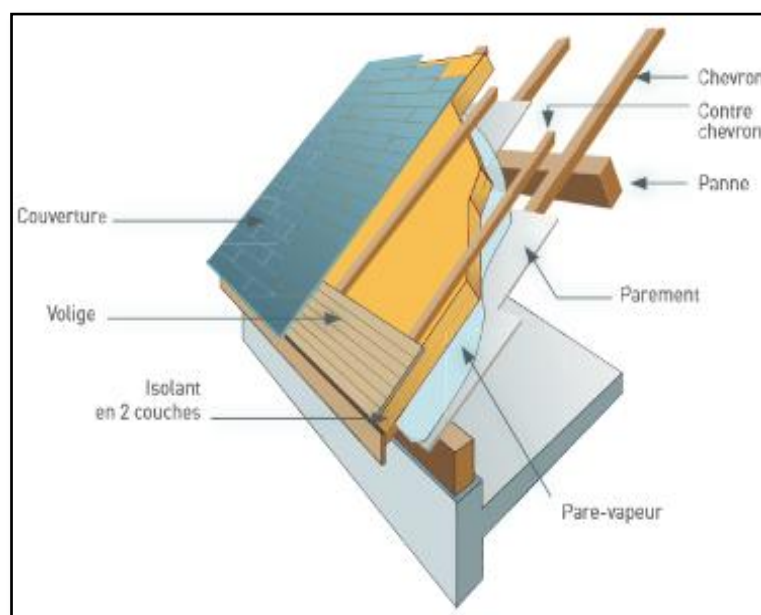


Figure II.12: Combles aménageable isolation par l'extérieur. [11]

II.3.2 Isolation intérieure

Dans l'idéal, l'isolation intérieure des bâtiments permet d'obtenir une "boîte dans la boîte", qui veut dire que les surfaces des locaux deviennent étroites. Dans la réalité, les choses se compliquent, et le risque d'apparitions des ponts thermiques se multiplie car une mauvaise isolation peut engendrer l'apparition des ponts thermiques.

II.3.2.1 Liaison murs et planchers intermédiaires

Ce pont thermique est dû à un point faible du procédé d'isolation thermique par l'intérieur. La discontinuité de l'isolation laisse en effet la chaleur s'échapper vers l'extérieur en passant par le plancher (plus spécialement les planchers maçonnés). Un retour d'isolant sur les deux faces (sol et plafond) des planchers est alors à envisager, au moins dans les pièces humides.

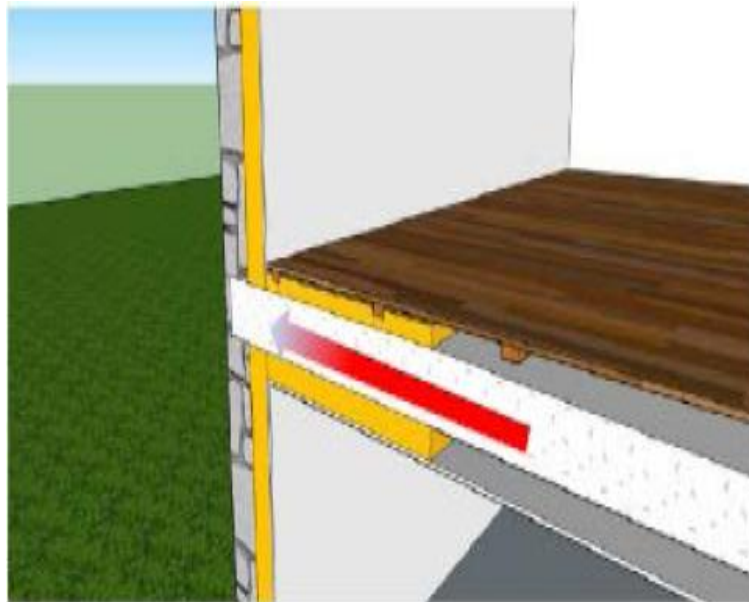


Figure II.13: Pont thermique traité par allongement du parcours de la chaleur. [6]

II.3.2.2 Liaison murs et plancher haut : combles perdus

La solution la plus facile et la moins coûteuse est l'isolation du sol des combles perdus, elle peut créer un pont thermique important, notamment en cas de planchers maçonnés. Dans ce cas, une correction est à envisager sur le pourtour du plafond. Une autre possibilité est d'isoler en partie par dessous en prenant cette dalle entre deux épaisseurs d'isolant et en respectant une règle d'au plus un tiers d'isolant en sous-face pour éviter des condensations dans la paroi.

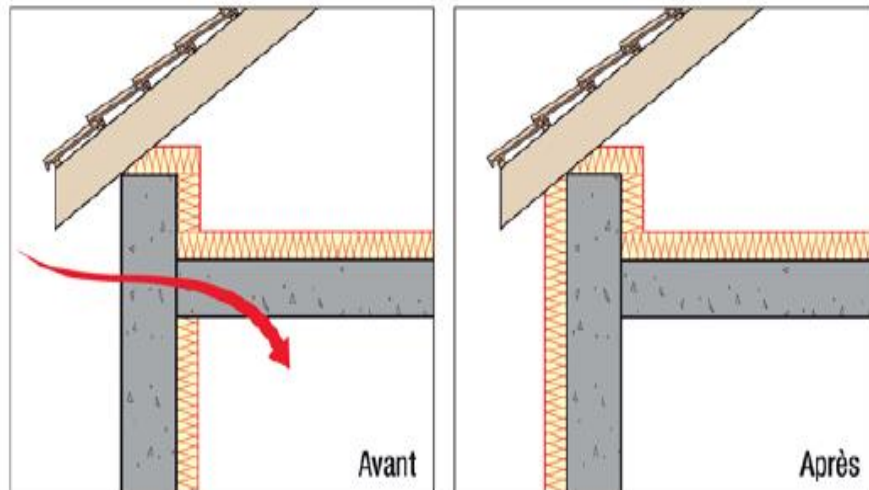


Figure II.14: Liaison de l'isolant murs et plancher haut (combles perdus). [12]

II.3.2.3 Liaison murs et plancher haut (terrasses)

Pour limiter les chocs thermiques, la solution la plus courante pour les terrasses en béton est l'isolation par l'intérieur uniquement. La jonction entre cette isolation et l'isolation intérieure des murs est donc particulièrement faible dans cette configuration. Pourtant, le pont thermique constitué par l'acrotère est important : un retour d'isolant périphérique est indispensable dans cette configuration.

Dans le cas des toitures terrasses, l'isolation des murs par l'extérieur serait donc plus cohérente.

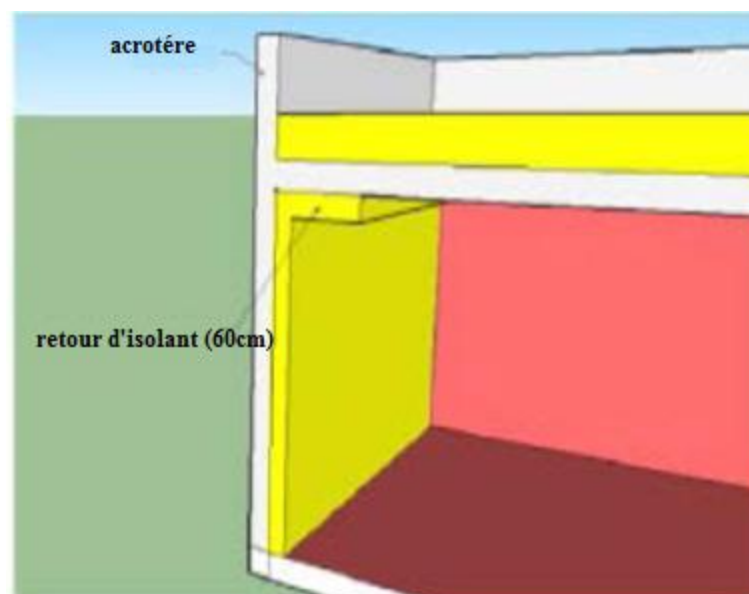


Figure II.15: ITI et terrasse. [6]

II.3.2.4 Liaison murs extérieurs et toiture inclinée, combles aménagés

Les éléments de charpente (chevrons, pannes, fermes) constituent des ponts thermiques intégrés (le bois est de 3 à 4 fois plus conducteur que les isolants). Dans la mesure du possible, l'isolation viendra les recouvrir. De plus, quelle que soit la configuration des combles, l'isolation devra être continue du toit jusqu'au plancher.

Les toitures peuvent comporter des détails (lucarnes, chien assis, décrochements, etc.) rendant la pose de l'isolation compliquée ou limitant fortement la place disponible. Dans ce dernier cas, on doit faire recours à des isolants très performants comme le polyuréthane, le polystyrène extrudé ou certaines laines de verre permet de compenser le manque d'épaisseur.



Figure II.16: Combles aménagés sur étage chauffé. [6]

II.3.2.5 Liaison murs extérieurs et murs de refend

Les refends traversent l'isolation intérieure selon une direction bidimensionnelle horizontale et verticale:

- Horizontalement en rejoignant les murs extérieurs.
- Verticalement à travers le plancher bas jusqu'aux fondations.
- Verticalement à travers le plancher haut jusqu'à la couverture.

Des retours d'isolation d'environ 60 cm est obligatoire sur ces murs de refends pour assurer une importante suppression des ponts thermiques.

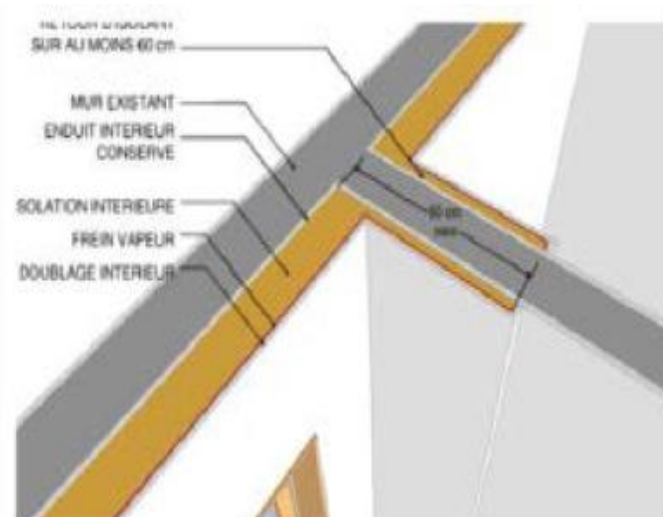


Figure II.17: Isolation d'un mur de refend. [6]

II.3.2.6 Liaison murs extérieurs et menuiseries

Si la fenêtre ou la porte est posée "en tunnel" (c'est-à-dire dans l'épaisseur de la maçonnerie), un retour d'isolant dans l'embrasure de la baie est impératif, (soit entre 4 et 6 cm d'isolant très performant). Dans le cas où le changement de fenêtre est envisagé, il faudra prendre en considération l'espace nécessaire pour ce retour d'isolant tout autour de la nouvelle menuiserie.



Figure II.18: Isolation thermique par l'extérieur : les solutions menuiseries. [13]

II.3.3 Points singuliers

II.3.3.1 Cheminées

Les passages des conduits de fumée (en marche ou pas) doivent être isolés avec des matériaux ininflammables. Les principaux fabricants de conduits métalliques ont développé des coquilles isolantes compatibles avec leurs produits qui assurent aussi l'étanchéité à l'air.

II.3.3.2 Les réseaux

D'autres ponts thermiques moins bien connus mais très courants sont dus aux défauts d'isolation thermique du réseau électrique dans les bâtiments : la présence d'un courant d'air froid à la sortie d'une prise électrique peut ainsi être le signe d'une absence ou d'une mauvaise isolation de la gaine électrique ou d'un défaut de réparation de l'isolation thermique après qu'on l'ait enlevée pour faire passer une nouvelle gaine électrique. On remédie à ce défaut en utilisant des boîtes d'encastrement isolantes aux principaux points de jonction au réseau électrique, mais aussi aux prises, aux sorties pour l'éclairage, etc. Ces boîtiers présentent une étanchéité à l'air qui évite les échanges thermiques par les gaines du réseau électrique.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a cerné le contexte de l'isolation thermique et spécialement, la résolution des ponts thermiques, dans le but d'améliorer le confort thermique à l'intérieur de l'habitat et minimiser les impacts sur l'environnement.

Cette partie nous a permis également de mettre en évidence et identifier l'ensemble des techniques et solutions de résolution des ponts de déperdition de chaleurs et augmenter la performance thermique de l'habitat.

chapitre III
Corrélations utilisées dans le calcul
des ponts thermiques

Introduction :

Les ponts thermiques sont des rupteurs d'isolants qui surviennent généralement à l'intersection de deux parois. Ils sont responsables d'environ 5 à 10% des pertes thermiques et peuvent provoquer de la condensation dans les murs ce qui peut les détériorer rapidement.

La présence des ponts thermiques dans les bâtiments représente donc une menace majeure pour un certain nombre de facteurs tels que le confort de l'habitat, l'efficacité énergétique et la consommation d'énergie. Nous devons, donc, nécessairement dès la phase de conception, éliminer les ponts thermiques, en faisant les calculs appropriés.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les corrélations utiliser pour le calcul des ponts thermique dans le bâtiment afin d'évaluer leur impacts sur les habitats selon leur géométrie et les matériaux utilise dans leurs conception, afin de mieux choisir l'isolation la plus adapter pour une meilleure minimisation des risques qui pourront être provoqué.

III.1 Modes de transfert thermique dans le bâtiment

Les principes de la thermodynamique énoncent que la chaleur ou l'énergie calorique ne disparaît pas, elle se déplacer ou se transformer sous une autre forme d'énergie. Au cours d'un échange de chaleur entre deux corps physiques, c'est toujours le plus chaud qui cède de l'énergie au profit du plus froid, l'échange thermique s'arrête lorsque les deux corps ont atteint la même température.

Le transfert thermique peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques.

Dans le domaine de bâtiment, les échanges thermiques de la chaleur se font principaux selon 3 modes de transmission : la conduction, la convection et le rayonnement. [14]

III.1.1 Transfert par conduction

Ce mode de transfert de chaleur se retrouve dans tous les composants "solides" d'une transmission, c'est le plus simple. Il correspond au transfert de chaleur dans un solide d'un point chaud vers un point froid.

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

$$\vec{\Phi} = -\lambda \cdot S \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad (\text{III.1})$$

Ou sous forme algébrique :

$$\Phi_{cd} = -\lambda \cdot S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

Φ_{cd} : flux de chaleur transmis par conduction (W).

λ : conductivité thermique du milieu (W/m·°C).

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

S : air de la section de passage du flux de chaleur (m²).

III.1.2 Transfert de chaleur par convection

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

$$\Phi_{cv} = h \cdot S \cdot \Delta T \quad (\text{III.3})$$

Avec :

Φ_{cv} : flux de chaleur transmis par convection (W).

h : coefficient de transfert de chaleur par convection (W/m.k).

ΔT : différence de température entre le solide et le fluide (k).

S : Air de la surface de contact solide/fluide (m²).

Remarque : la valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométrique de la surface de contact solide/fluide.

III.1.3 Transfert de chaleur par rayonnement

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

$$\Phi_{ray} = \sigma \varepsilon_p S(T_p - T_\infty) \quad \text{(III.4)}$$

Avec :

Φ_{ray} : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W).

σ : Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

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

T_p : Température de la surface (K).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (K).

S : Air de la surface (m^2).

III.2 Propriétés des matériaux

III.2.1 Le coefficient de conductivité thermique des matériaux

Le coefficient de conductivité thermique est la quantité de chaleur traversant en 1 seconde un matériau de 1m d'épaisseur et d'une surface de 1 m^2 lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1°C. Plus la conductivité est petite plus le matériau est isolant.

III.2.2 Résistance thermique

III.2.2.1 Resistance thermique d'un matériau

La résistance thermique R représente la résistance du matériau au passage de la chaleur. C'est donc l'inverse de la conductivité thermique. Plus le matériau n'est épais, mieux il résistera au transfert de chaleur. La résistance thermique d'une paroi constituée d'un seul matériau, se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$R = \frac{e}{\lambda S} \quad \text{(III.5)}$$

Avec :

R : la résistance thermique du matériau ($m^2.K/W$).

λ : la conductivité thermique du matériau ($W/m^2.K$).

e : épaisseur de la paroi (m).

III.2.2.2 Résistance superficielle

Avant de traverser une paroi, la chaleur doit atteindre la surface intérieure de celle-ci puis être évacuée une fois arrivée sur la face extérieure. La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection. Exprimé selon les formules suivantes :

$$R_{ext} = \frac{1}{h_{ext}} \quad (III.6)$$

Et :

$$R_{int} = \frac{1}{h_{int}} \quad (III.7)$$

Avec :

h_{ext} et h_{int} sont les coefficients de convection thermique coté extérieure et intérieure exprimés en ($W/m^2.k$) .

III.2.2.3 Resistance global

La résistance thermique de la paroi déterminée comme étant la somme des résistances thermiques des couches composant la paroi. Déterminée par la formule suivante :

$$R_g = R_{ext} + \sum R_{th} + R_{int} \quad (III.8)$$

Autrement dit :

$$R_g = \frac{1}{h_{ext}} + \sum \frac{e}{\lambda S} + \frac{1}{h_{int}} \quad (III.9)$$

III.2.3 Coefficient de transmission surfacique

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi U_p est le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre de cette paroi. Il est l'inverse de la résistance thermique, il est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux et des résistances superficielles. Plus sa valeur est faible et plus la construction sera isolée.

Le coefficient de transmission surfacique global des parois courantes, U_p en $(W/m^2.K)$, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{R_g} \quad (III.10)$$

Soit :

$$U_p = \frac{1}{h_{ext}} + \sum \frac{e}{\lambda S} + \frac{1}{h_{int}} \quad (III.11)$$

U_p : Coefficient de transmission surfacique d'une paroi exprimé en $(W/m^2.K)$.

Plus sa valeur est faible et plus la construction sera isolée.

III.3 Principe de calcul des ponts thermiques

Les performances thermiques des ponts thermiques sont caractérisées par le coefficient de transmission thermique linéaire Ψ exprimé en $(W/m.k)$ ou le coefficient de transmission thermique linéaire χ exprimé en $(W/m.K)$. Ces coefficients de transmission thermique indiquent quel supplément doit être ajouté au transport de chaleur qui a été calculé à partir des valeurs U .

III.3.1 Coefficients de transmission thermique linéaire

Le principe de calcul d'un pont thermique consiste à calculer le flux thermique qui lui est associé comme étant la différence entre le flux total Φ_T , obtenu par calcul numérique, et la somme des flux associés aux autres composants du modèle $\sum \Phi_k$ obtenus soit par calcul numérique, soit par calcul manuel.

Le coefficient du pont thermique s'obtient en divisant le flux ainsi obtenu, par la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide ΔT . [4]

Un pont thermique se calcule donc à partir du flux total Φ_T d'après les formules (III.12) et (III.13).

III.3.1.1 Pont thermique linéaire en 2D

$$\Psi = \frac{\Phi_T - \Phi_K}{\Delta T} \quad (\text{III.12})$$

Soit :

$$\Psi = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^n U_i L_i \quad (\text{III.13})$$

Avec :

Ψ : est le coefficient linéique du pont thermique exprimé en (W/m.K).

Φ_T : est le flux total par mètre de longueur à travers le modèle 2D, exprimé en (W/m).

Φ_K : flux associés aux autres composants du modèle, exprimé en (W/m).

ΔT : est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K.

U_i : est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en (W/m².K).

L_i : est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur U_i dans le modèle géométrique 2D, exprimée en (m).

n : est le nombre des composants 1D.

III.3.1.2 Pont thermique ponctuel en 3D

$$\chi = \frac{\Phi_T - \Phi_K}{\Delta T} \quad (\text{III.14})$$

Soit :

$$\chi = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^n U_i A_i - \sum_{j=1}^m \Psi_j L_j \quad (\text{III.15})$$

Avec :

χ : est le coefficient ponctuel du pont thermique exprimé en (W/m.K).

Φ_T : est le flux total à travers le modèle 3D, exprimé en (W/m).

Φ_K : flux associés aux autres composants du modèle, exprimé en (W/m).

ΔT : est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K.

U_i : est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en (W/m².K).

A_i : est la surface intérieure sur laquelle s'applique la valeur U_i dans le modèle géométrique 3D, exprimée en (m²).

n : est le nombre des composants 2D.

Ψ_j : est le coefficient linéique du pont thermique linéaire j calculé selon la formule (III.12) ou (III.13) et exprimé en (W/m.K).

L_j : est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur Ψ_j dans le modèle géométrique 3D, exprimée en m.

m : est le nombre des ponts thermiques linéaires.

Les formules (III.13) et (III.15) supposent que les parois sont homogènes sur leurs surfaces pour qu'on puisse parler de coefficients surfaciques U_i .

III.3.2 Déperditions générés à travers les ponts thermiques

Selon la Documentation Technique Réglementaire (DTR) de la construction, Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique D_{li} pour une différence de température de 1°C sont données par la formule (III.16). [8]

$$D_{li} = K_l * L \quad \text{(III.16)}$$

Avec :

K_l : représente le coefficient de transmission linéique de la liaison, exprimé en (W/m.°C).

L : représente la longueur intérieure de la liaison exprimée en (m).

Les liaisons à la jonction des parois (entre deux parois extérieures, entre une paroi intérieure et une paroi extérieure) et les liaisons entre les murs et les menuiseries, appelées communément ponts thermiques, constituent des sources supplémentaires de déperditions. En outre, ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction (dues à la condensation principalement).

Le total des déperditions thermique par transmission qu'il est possible d'associer à une paroi d_p exprimé en (W/°C) est obtenu en effectuant la somme des pertes surfaciques à travers cette paroi avec l'ensemble des pertes linéiques. [8]

Soit :

$$d_p = \sum(K * A) + \sum(K_{li} * L) \quad (\text{III.17})$$

Dans cette formule, k et L sont respectivement le coefficient de transmission surfacique U exprimés en (W/m².°C), et la surface intérieure (en m²) de chaque élément de paroi, k_l et L sont respectivement le coefficient de transmission linéique exprimés en (W/m.°C) et la longueur intérieure en (m) de chaque liaison.

$$K_p = \frac{\sum(K*A) + \sum(K_l*L)}{\sum A} \quad (\text{III.18})$$

Parfois, on exprime aussi le total des déperditions en utilisant la notion de coefficient K global K_g , soit :

$$d_p = k_g * \sum A \quad (\text{III-19})$$

Avec :

A : représente la surface intérieure totale de la paroi en (m²).

K_g : Le coefficient de transmission surfacique global K_g d'une paroi exprimé en (W/m².°C).

Soit :

$$k_g = \frac{\sum(K*A) + \sum(K_l*L)}{\sum A} \quad (\text{III-20})$$

Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$\Sigma k * L = 0.20 \Sigma(K_l * L) \quad \text{(III-21)}$$

Dans le cas d'un calcul pièce par pièce, les pertes calorifiques par transmission affectées à chaque volume doivent être majorées de 20 %.

Conclusion :

L'étude du comportement du flux de chaleur à travers la construction s'avère nécessaire pour le calcul des ponts thermiques. A cet effet, nous avons présenté dans ce chapitre les différentes corrélations utilisées dans l'évaluation des ponts thermiques à savoir : Modes de Transferts thermiques dans le bâtiment, Les propriétés des matériaux, Coefficient de transmission surfacique U, ainsi que le principe de calcul du coefficient de transmission thermique linéaire.

chapitre IV
Simulations numériques

Introduction :

L'isolation thermique joue un rôle clé dans l'économie d'énergie consommée par les bâtiments. Et du fait que les ponts thermiques présentent un risque majeur dans la dégradation des performances énergétique des habitats, et pour obtenir un haut niveau de performance d'isolation, les ponts thermiques répétés doivent être minimisés.

Le but de cette étude est d'analyser l'influence des ponts thermiques sur les performances d'isolation des bâtiments, Pour ce faire, on évalue les déperditions thermiques à travers ces ponts.

Comme on ne peut que très rarement calculer au moyen d'une formule la déperdition globale d'énergie de deux éléments combinés, on doit, pour autant qu'il n'existe pas de valeurs mesurées, recourir à des logiciels spécifiques pour calculer les ponts thermiques. De tels programmes calculent les déperditions globales d'énergie. Pour cela, ils divisent les éléments en parties les plus petites possibles, puis, par une méthode numérique, calculent la répartition des températures et des flux d'énergie dans les éléments.

À cet effet, nous allons réaliser une simulation bidimensionnelle en régime stationnaire sur une façade d'un logement ou se présente deux ponts thermiques linéaires pour deux types de systèmes d'isolation interne et externe, et cela pour les périodes hivernal et estival.

Le flux de chaleur traversant les parois, les pertes/apports de chaleur, le coefficient des ponts thermiques avec et sans isolation pour chaque cas seront calculés et comparés afin d'évaluer les réductions de l'impact indésirable des ponts thermique sur les performances des habitats, L'isolation la plus efficace sera alors retenue.

Pour cela, on fait appel au code de calcul Fluent.

IV.1 L'outil fluent**IV.1.1 Présentation du logiciel**

La simulation en Mécanique des Fluides Numérique (Computational Fluid Dynamics : CFD), est utilisée pour la modélisation, la visualisation et l'analyse des écoulements fluides et transferts thermiques. Elle permet aux utilisateurs d'optimiser les performances des nouveaux concepts, tout en réduisant le cycle de commercialisation, les risques associés et les coûts.

Depuis plus de 10 ans, Fluent, leader mondial en Simulation numérique des écoulements Fluides logiciels et services. S'emploie à offrir la solution de simulation la plus adaptée, que ce soit pour l'ensemble de l'industrie, la recherche ou la formation des ingénieurs de demain. Cette solution passe par des services d'assistance technique, d'études à façon, et par des formations personnalisées.

Fluent est donc un code CFD commercial très utilisé dans les calculs dynamiques en thermique en raison de sa facilité de mise en œuvres, c'est la raison pour laquelle on la choisi pour réalisé notre simulation.

IV.1.2 Notice d'utilisation

L'utilisation de Fluent est simple, il suffit de suivre l'ordre des menus en partant de la gauche pour aller vers la droite. Le premier menu que nous allons étudier est le menu **GRID**. La première chose à faire est d'utiliser l'option check afin de vérifier si le maillage importé comporte des anomalies comme des problèmes de jointure entre les différentes surfaces du maillage. A cet effet, notre géométrie doit être définie et maillée avant de l'importer sur fluent et entamer les simulations. La conception de la géométrie et son maillage est effectuée sous **GAMBIT**.

Le second menu que l'on va utiliser est le menu **DEFINE**. La démarche à suivre est de partir des options du haut du menu secondaire et de descendre au fur et à mesure. Nous trouvons donc l'option **Models** qui se décompose aussi en un autre menu. solver permet de choisir le type de **Solver** que l'on souhaite utiliser (implicite, explicite, stationnaire, 2D...). **Viscous** permet de choisir le modèle de turbulence que l'on va prendre pour résoudre le problème (laminaire, k- ϵ , k- ω , LES...). **Energy** permet de choisir si oui ou non on doit faire intervenir l'équation de l'énergie dans la résolution du système.

Maintenant que la géométrie est en place, nous pouvons paramétrer et initialiser le **Solver** de Fluent dans le menu suivant : le menu **SOLVE**. Le premier sous-menu est le menu **Control** qui comprend tout d'abord l'option **Solution**. C'est grâce à cette option que l'on va pouvoir entrer les différents facteurs de sous-relaxation du système : pression, température etc.... Ces facteurs peuvent être modifié au cours de la résolution. Leurs principal intérêt est de forcer la solution a convergé : en les baissant, on diminue la vitesse de convergence mais on l'améliore (encore que ces constatations soient valables en générales, mais pas nécessairement dans tous les cas).

Dans ce menu, on peut à la façon de discrétiser chaque variable, d'autre sous-menu de **SOLVE** est Initialise. Ce menu permet de fixer les conditions initiales du système d'itérations que l'on veut faire pour résoudre le système et aussi la valeur limite des résidus que l'on veut se fixer.

Une fois que l'on estime que la convergence est atteinte, on peut visualiser les résultats grâce au post-traitement de Fluent. Principalement, on utilise le menu **DISPLAY** et les sous-menus **Contours** et **Celocity Vectors**. Dans le premier, on observe les variations des variables (vitesse, température...) avec les iso-surfaces. Dans le second, les valeurs sont traduites par des vecteurs ; ceci est surtout utile pour la visualisation des vecteurs vitesses. Il est également possible dans ces menus d'observer les résultats sur les faces de la géométrie et pour les vecteurs de faire des projections.

IV.2 L'outil gambit

GAMBIT est un logiciel qui permet de créer des maillages pouvant être utilisés en particulier sous **FLUENT**.

Ce logiciel est utilisé pour définir et créer le modèle d'étude (surface ou volume) et de le mailler suivant le bon vouloir de l'utilisateur.

GAMBIT est donc un prétraitement au logiciel de simulation. Il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques. Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle, triangle ou axisymétriques.

Pour construire un maillage, il est bon de suivre la démarche suivante:

- définir la géométrie.
- réaliser le maillage.
- définir les paramètres des zones de calcul.

Par conséquent, toutes les géométries des cas étudiés seront définies et maillées sur ce logiciel afin que le logiciel de simulation soit capable de le lire et de l'utiliser.

IV.3 Domaine de calcul

Pour réaliser une modélisation la plus proche possible à la réalité des modules, Les modèles géométriques que nous allons traiter doit comprendre, en plus des ponts thermique, son environnement proche comme les parties de parois voisines ainsi que leurs température, Les spécifications thermiques des matériaux utilisé définies par la norme qui seront détailler pour chaque cas.

A cet effet, nous allons traiter à titre d'exemple le cas d'une paroi à double Cloison, en contact d'un plancher, comme indiqué dans la figure (IV.1).

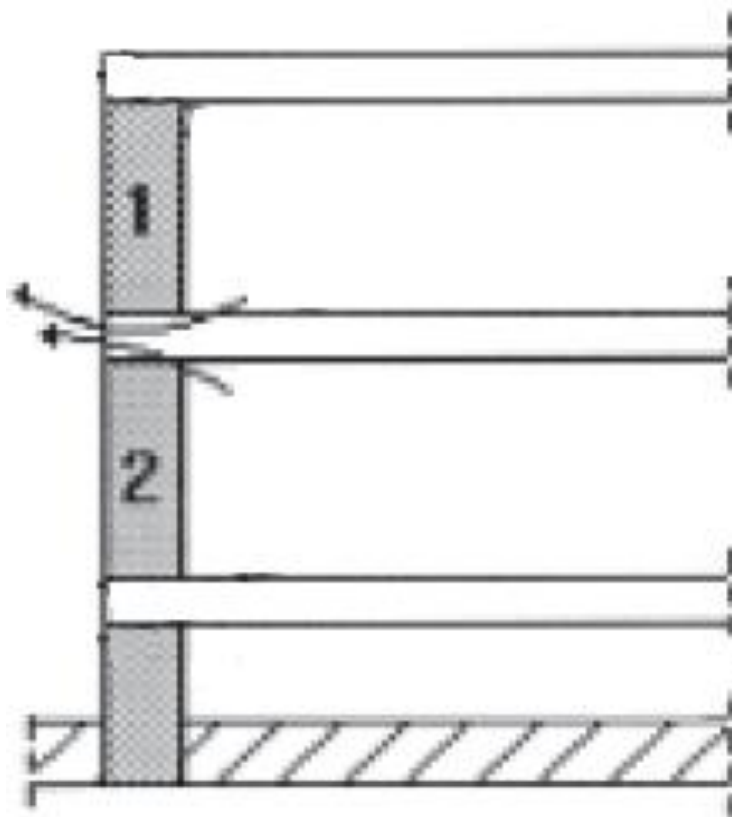


Figure IV.1: Coupe verticale d'un plan du logement..

Pour notre étude, nous avons deux cas à traiter :

- **1^{er} cas** : influence des ponts thermique dans l'apport de chaleur à l'intérieur du logement en période estivale.
- **2^{eme} cas** : influence des ponts thermique sur les déperditions thermique vers l'extérieur en période hivernale.

Afin d'analyser l'influence des ponts thermiques sur les performances d'isolation des bâtiments, nous allons effectuer les simulations suivantes :

- Cloison sans isolation.
- Cloison avec isolation interne des murs.
- Cloison avec isolation interne des murs et du plancher.
- Cloison avec isolation externe.

La géométrie que nous allons traiter est composé d'un plancher intermédiaire en béton armé et deux murs en brique creuse dont les extrémités sont adiabatiques, comme indiquer dans la figure (IV.2).

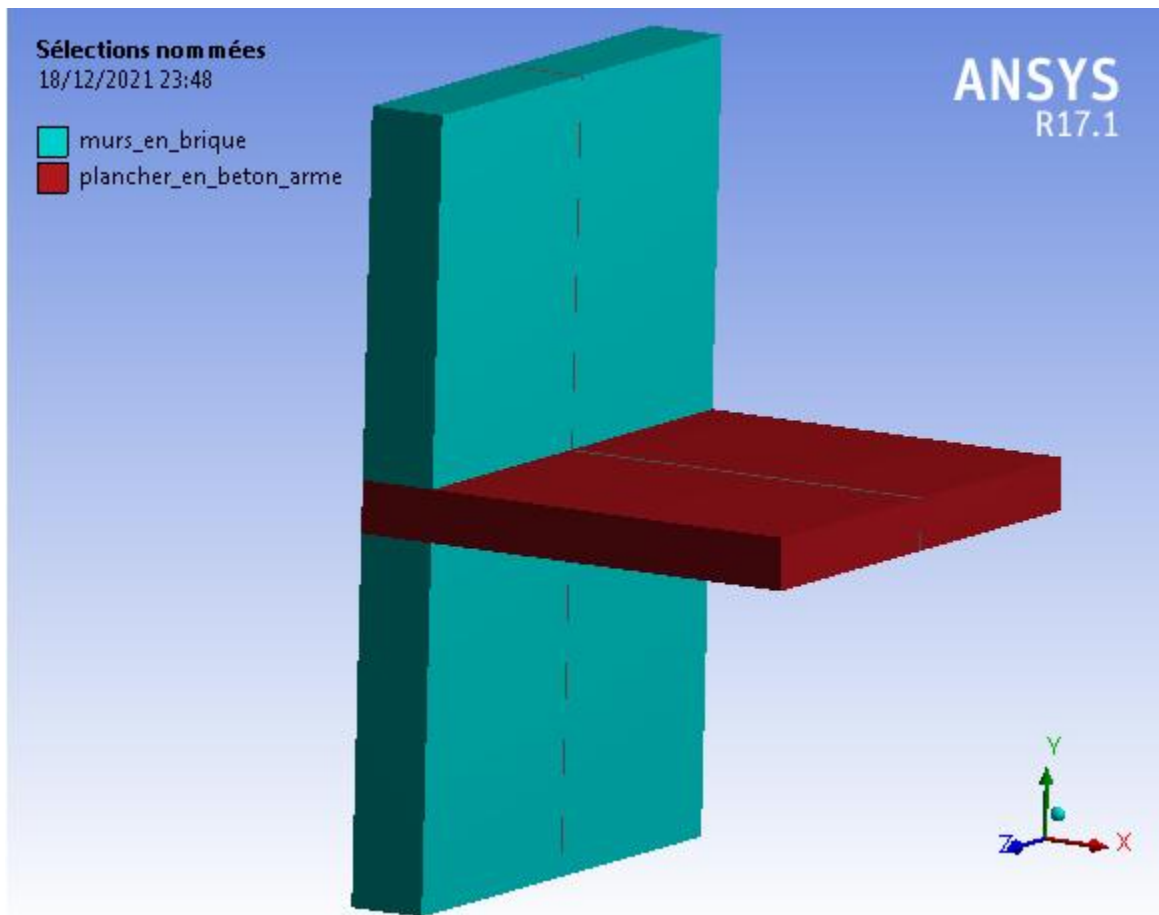


Figure IV.2: Vue 3D du modèle à étudier.

Les dimensions générales prises en compte sont :

- deux doubles murs en brique creuse de 8 trou et de dimension 15*20*30 mm pour la brique, dont la hauteur d'un mur est de 1.4 m et 0.15 m d'épaisseur. séparer par une lame d'air non ventilé de 0.05 dépresseur.
- Un plancher intermédiaire entre les deux murs en béton armé de 1.8 m de longueur et de 0.2 m d'épaisseur.

La géométrie est construite sur le logiciel GAMBIT en 2D, pour commencer on a établis les points selon les dimensions de la géométrie étudiée, chaque une est caractérisée par ces coordonnées par rapport à l'origine (0 ; 0 ; 0), puis on a relié entre les points par des lignes pour former l'ensemble de la géométrie, et finalement on a définie les déférentes faces de la géométrie en sélectionnant pour chaque face ces lignes considérées. Comme indiquer dans la figure (IV.3).

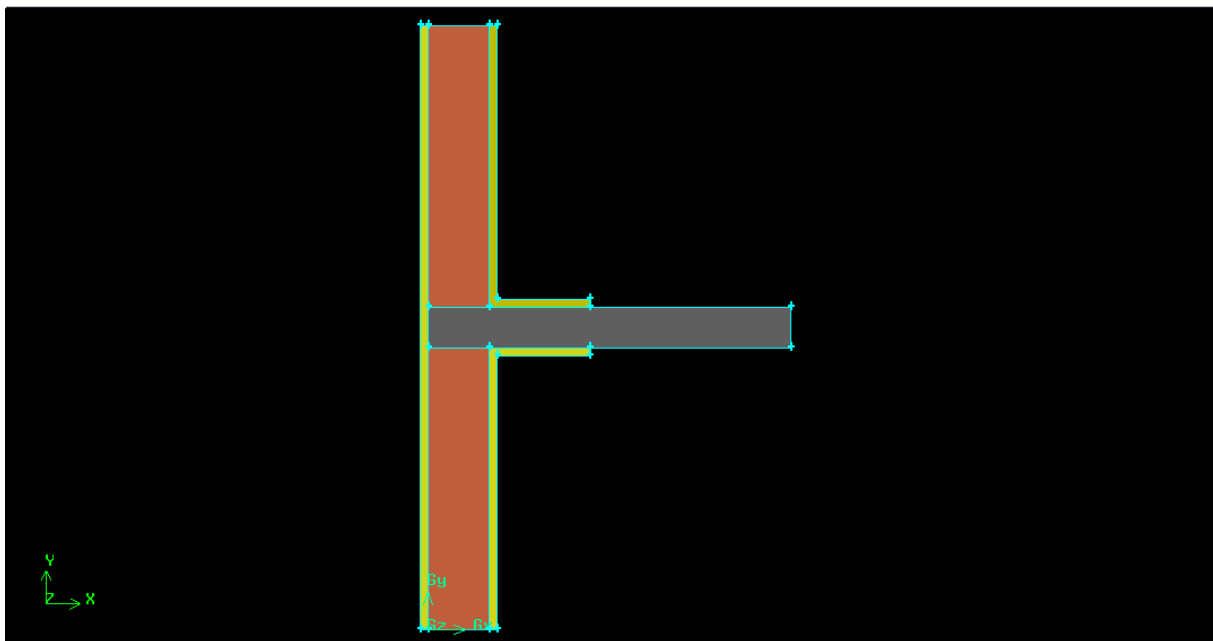


Figure IV.3: Définition de la géométrie sur GAMBIT.

IV.4 Le maillage

Afin que le logiciel de simulation numérique FLUENT soit capable de lire et d'utilisé le modèle géométrique étudiier, ce dernier doit être discrétisé en petits éléments ou mailles dont la densité doit être d'autant plus forte qu'on s'approche du centre du pont thermique ou la perturbation des lignes de flux est maximale.

A cet effet, nous avons adopté un maillage de 0.005 m de densité pour l'ensemble des faces de la construction, pour la face du plancher, nous avons utilisé un maillage de type bi-exponent, afin de mettre plus de densité à la liaison des murs avec le plancher où se trouvent les zones de perturbations créées par les ponts thermiques.

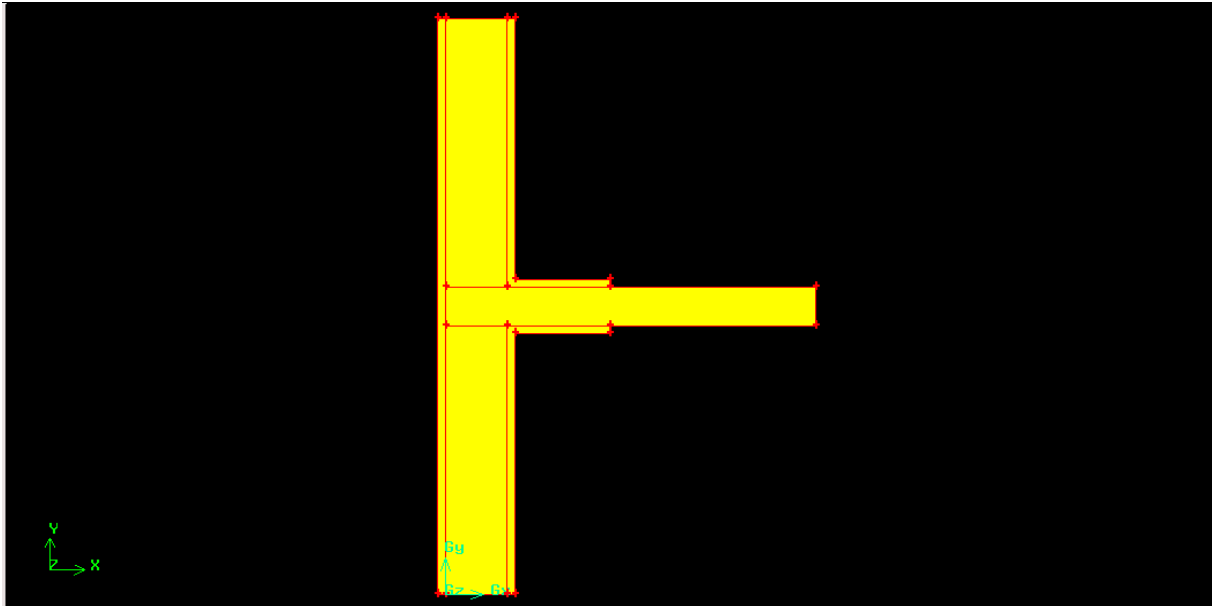


Figure IV.4: Maillage de la géométrie sur Gambit.

L'augmentation de la densité du maillage aux niveaux des ponts thermiques est représentée dans la figure (IV.5).

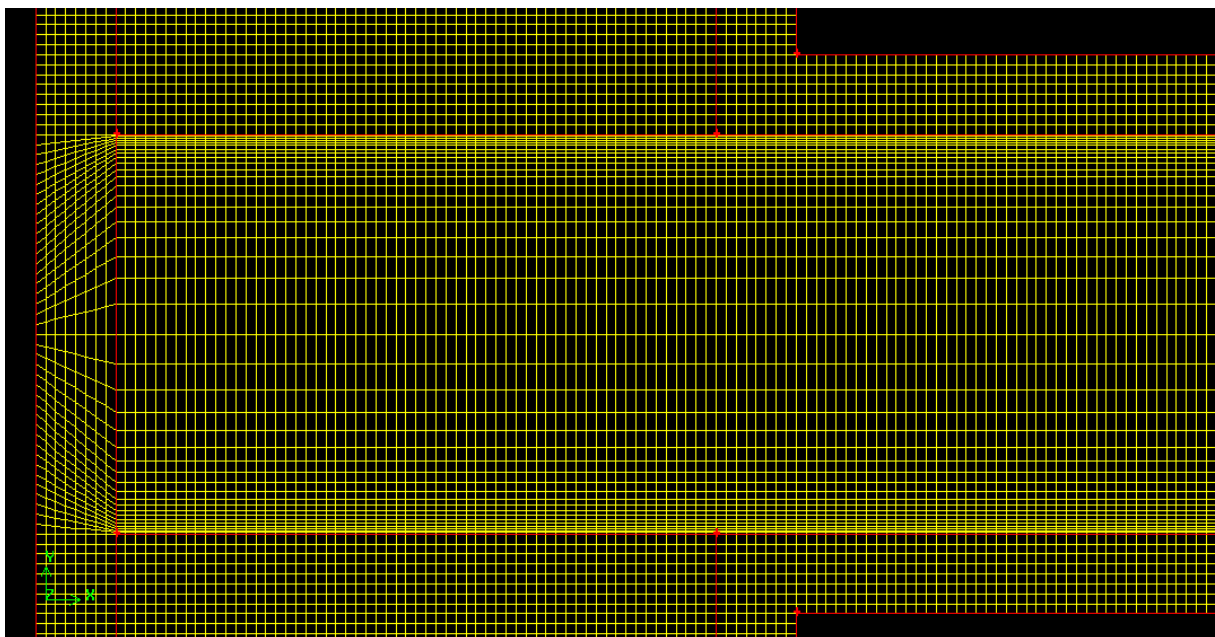


Figure IV.5: Augmentation de la densité des mailles aux zones de perturbations.

IV.5 Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisées

La répartition de la température dans une construction et le flux thermique qui la traverse peuvent être calculé si les conditions aux limites et les détails de construction sont connus. A cet effet, le modèle géométrique est divisé en un certain nombre de cellules de matériaux adjacents, chacun ayant une conductivité thermique homogène.

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans les modèles étudiés sont données dans le tableau (IV.1).

Matériaux	conductivité thermique λ (KJ/m.K)	Densité ρ (Kg/m ³)	Capacité thermique massique C_p (J/kg.K)
Brique creuse (15*20*30)	0.42	650	1001
Béton armé	2.3	2400	1001
polystyrène	0.044	15	1450

Tableau IV.1 : Propriétés thermo-physiques des matériaux utilisées.

Ces propriétés sont ensuite chargées dans les panneaux matériaux du logiciel FLUENT.

IV.6 Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont de deux types :

a) Conditions aux limites de température.

b) Conditions aux limites de flux.

Généralement, elles consistent à imposer une condition adiabatique (flux de chaleur nul) aux plans de coupe, et des températures d'ambiances T_{int} et T_{ext} sur les surfaces exposées aux ambiances, chaude et froide.

Afin de déterminer l'influence des ponts thermique sur l'apport/déperdition de chaleur, et comme la propagation de la chaleur se fait du milieu le plus chaud vers le moins chaud, nous allons adopter 2 types de température d'ambiance, une en période estivale ou il est conseillé de vivre dans des température d'intérieur qui ne dépasse pas les 25°C, l'autre en période hivernale ou il est raisonnable de vivre dans des température d'intérieur de 19 à 20 °C.

Par conséquent, Les températures de l'ambiance des cas étudiés sont données dans le tableau (IV.1).

cas	T_{int} (°C)	T_{ext} (°C)
1 ^{er} cas	25	40
2 ^{eme} cas	19	4

Tableau IV.2 : Conditions aux limites de la température.

IV.7 Simulation numérique

IV.7.1 Traitement avec Fluent

Puisque la géométrie est en 2D, le choix du 2D double précision semble le plus approprié à notre simulation, il est donc choisi comme indiqué dans la figure (IV.6).

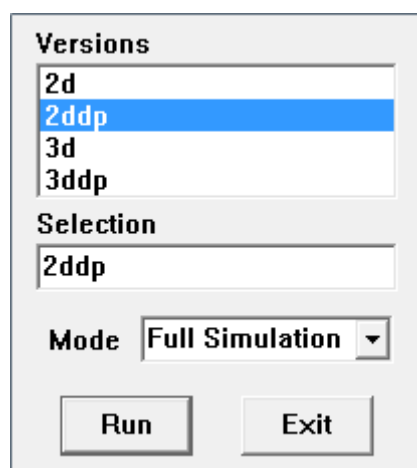
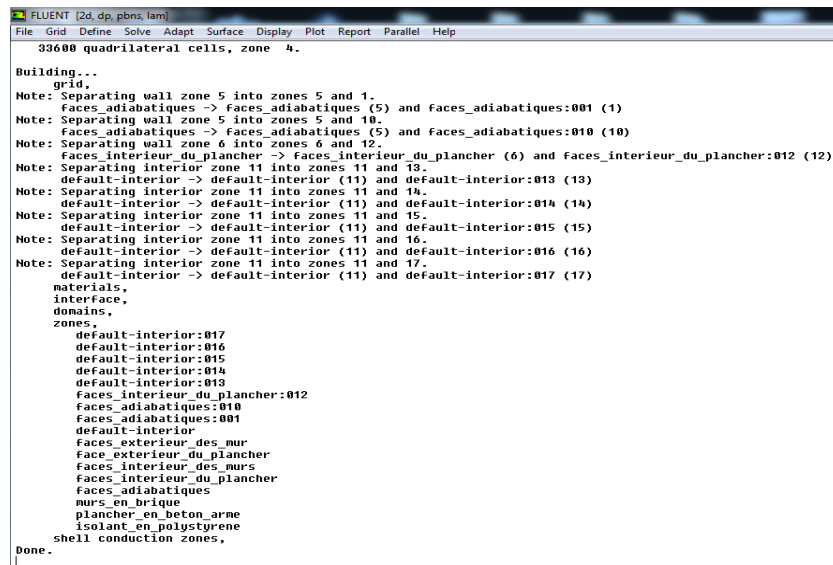


Figure IV.6: Choix de simulation.

IV.7.2 Importation de la géométrie (*.msh)

File → Read → Case...

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit pour chaque géométrie.



```

FLUENT [2d, dp, pbns, lam]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help
33600 quadrilateral cells, zone 4.
Building...
grid.
Note: Separating wall zone 5 into zones 5 and 1.
Faces_adiabatiques -> faces_adiabatiques (5) and faces_adiabatiques:001 (1)
Note: Separating wall zone 5 into zones 5 and 10.
Faces_adiabatiques -> faces_adiabatiques (5) and faces_adiabatiques:010 (10)
Note: Separating wall zone 6 into zones 6 and 12.
Faces_interieur_du_plancher -> faces_interieur_du_plancher (6) and faces_interieur_du_plancher:012 (12)
Note: Separating interior zone 11 into zones 11 and 13.
default-interior -> default-interior (11) and default-interior:013 (13)
Note: Separating interior zone 11 into zones 11 and 14.
default-interior -> default-interior (11) and default-interior:014 (14)
Note: Separating interior zone 11 into zones 11 and 15.
default-interior -> default-interior (11) and default-interior:015 (15)
Note: Separating interior zone 11 into zones 11 and 16.
default-interior -> default-interior (11) and default-interior:016 (16)
Note: Separating interior zone 11 into zones 11 and 17.
default-interior -> default-interior (11) and default-interior:017 (17)
materials,
interface,
domains,
zones,
default-interior:017
default-interior:016
default-interior:015
default-interior:014
default-interior:013
Faces_interieur_du_plancher:012
Faces_adiabatiques:010
Faces_adiabatiques:001
default-interior
Faces_exterieur_des_mur
Face_exterieur_du_plancher
Faces_interieur_des_murs
Faces_interieur_du_plancher
Faces_adiabatiques
murs_en_brique
plancher_en_beton_arme
isolant_en_polystyrene
shell conduction zones,
Done.

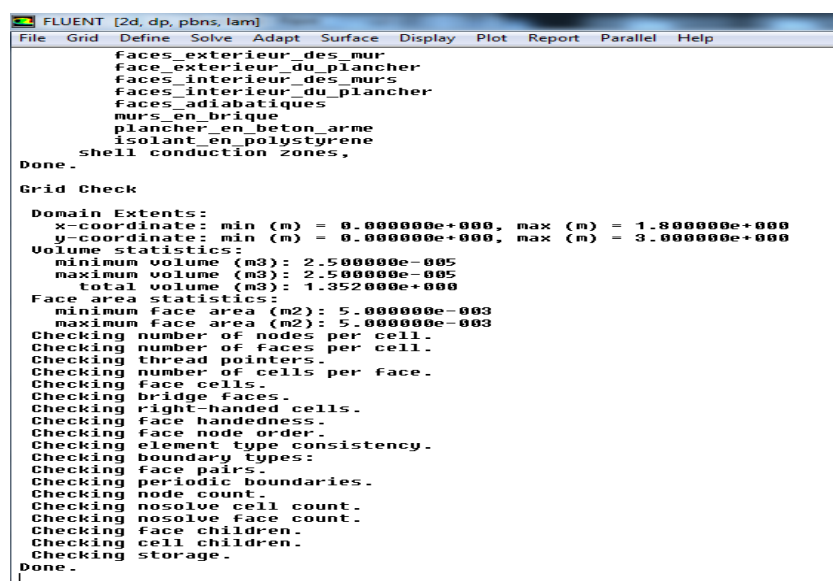
```

Figure IV.7: Importation de la géométrie.

IV.7.3 Vérification du maillage importé

Grid → Check

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.



```

FLUENT [2d, dp, pbns, lam]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help
faces_exterieur_des_mur
face_exterieur_du_plancher
faces_interieur_des_murs
faces_interieur_du_plancher
faces_adiabatiques
murs_en_brique
plancher_en_beton_arme
isolant_en_polystyrene
shell conduction zones,
Done.
Grid Check
Domain Extents:
x-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.800000e+000
y-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 3.000000e+000
Volume statistics:
minimum volume (m3): 2.500000e-005
maximum volume (m3): 2.500000e-005
total volume (m3): 1.352000e+000
Face area statistics:
minimum face area (m2): 5.000000e-003
maximum face area (m2): 5.000000e-003
Checking number of nodes per cell.
Checking number of faces per cell.
Checking thread pointers.
Checking number of cells per face.
Checking face cells.
Checking bridge faces.
Checking right-handed cells.
Checking face handedness.
Checking face node order.
Checking element type consistency.
Checking boundary types:
Checking face pairs.
Checking periodic boundaries.
Checking node count.
Checking nosolve cell count.
Checking nosolve face count.
Checking face children.
Checking cell children.
Checking storage.
Done.

```

Figure IV.8: Vérification du maillage sous Fluent.

IV.7.4 Adaptation de l'échelle

Grid → Scale

Il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème.

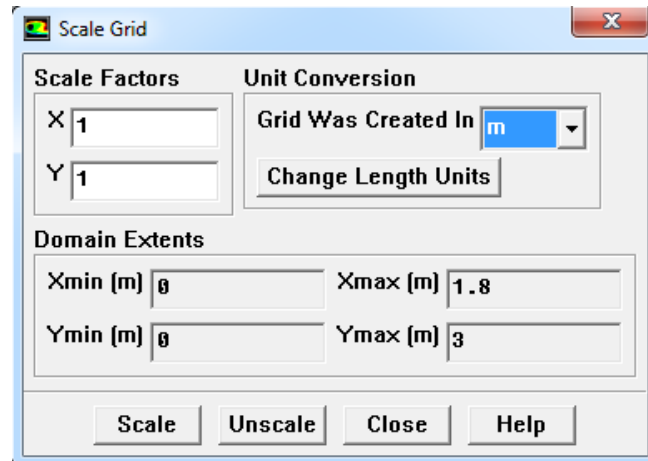


Figure IV.9: Vérification des dimensions.

IV.7.5 Choix du model de simulation

Define → Models → energy

Puisque on a un gradient de température qui intervient dans les phénomènes, il faut utiliser l'équation d'énergie.

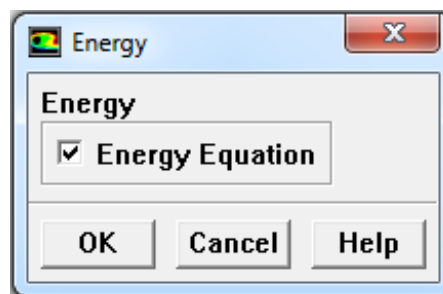
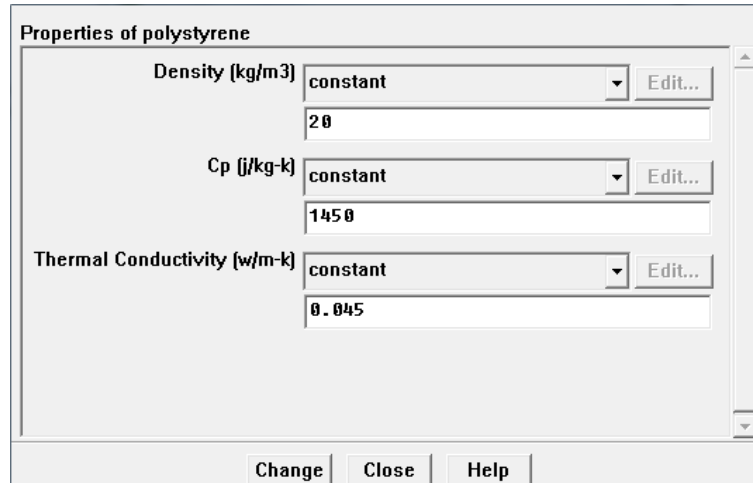


Figure IV.10: Etablir l'équation de l'énergie.

IV.7.6 Propriétés thermo-physiques des matériaux

Define → Materials

Les caractéristiques des matériaux utilisés sont chargées à partir des fiches techniques des matériaux composant les modules.

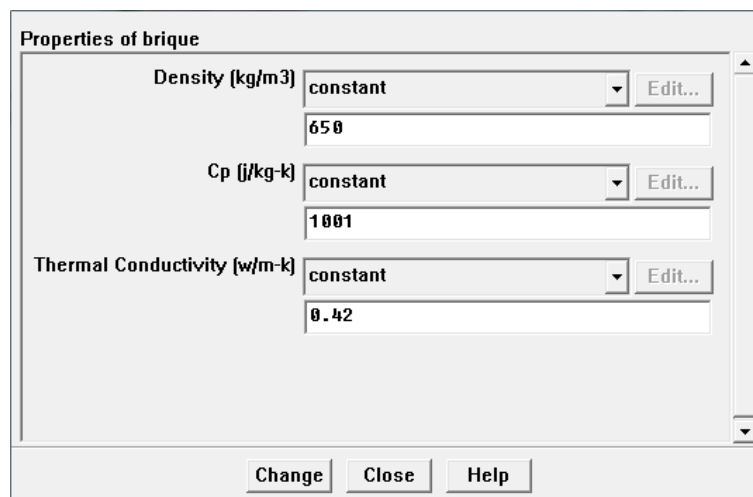


Properties of polystyrene

Density (kg/m ³)	constant	Edit...
	20	
Cp (j/kg-k)	constant	Edit...
	1450	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.045	

Change Close Help

Figure IV.11: Propriétés thermo-physiques de la brique creuse.

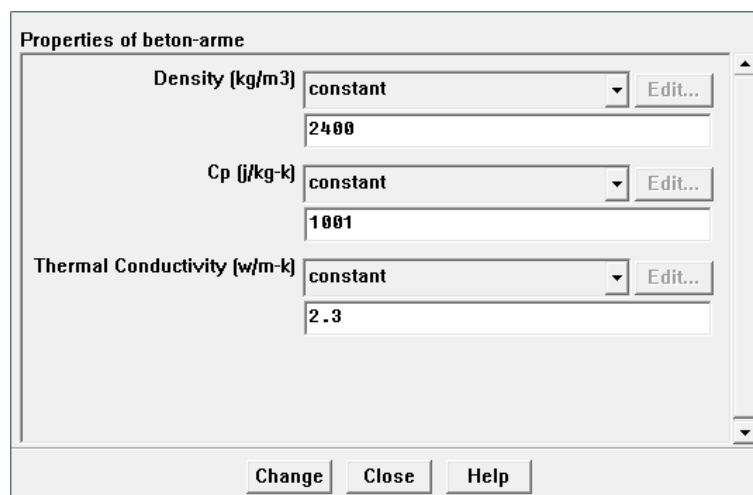


Properties of brique

Density (kg/m ³)	constant	Edit...
	650	
Cp (j/kg-k)	constant	Edit...
	1001	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.42	

Change Close Help

Figure IV.12: Propriétés thermo-physiques du béton armé.



Properties of beton-arme

Density (kg/m ³)	constant	Edit...
	2400	
Cp (j/kg-k)	constant	Edit...
	1001	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	2.3	

Change Close Help

Figure IV.13: Propriétés thermo-physiques du polystyrène.

IV.7.7 Conditions d'opération

Define → Boundary Conditions

On définit les conditions aux limites associées à chaque élément constituant la paroi.

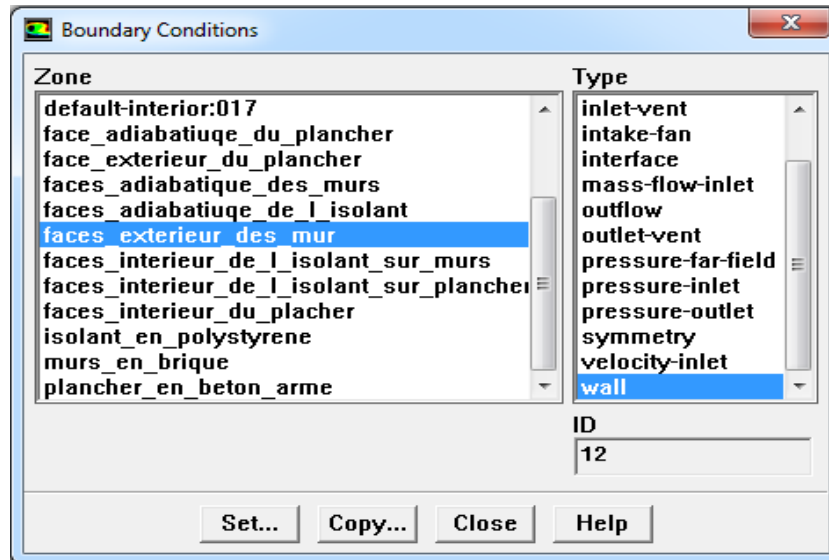


Figure IV.14: Valeurs des conditions aux limites.

IV.7.8 Critères de convergence

Monitors → residual

Dans la plupart des cas, la solution converge quand les résidus atteignent 10^{-3} . Toutefois, dans certains cas comme le notre, comme les dimensions des mailles sont faibles, il faut pousser les calculs à 10^{-4} voire 10^{-6} .

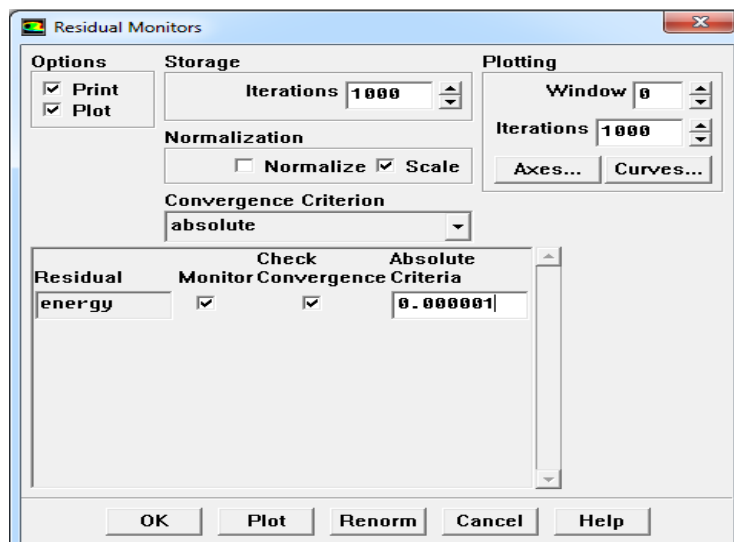


Figure IV.15: Augmentation des Critères de calcul.

IV.7.9 Lancement du calcul

Solve → Iterate...

Pour commencer les calculs il faut d'abord choisir le nombre des itérations.

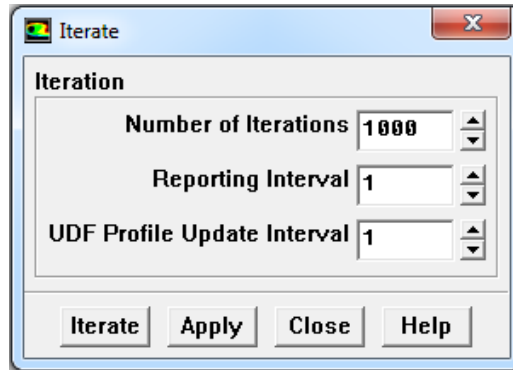


Figure IV.16: Choix du nombre des itérations.

IV.7.10 Exploitation des résultats

Une fois que l'on estime que la convergence est atteinte, on peut visualiser les résultats grâce au post-traitement de Fluent. Pour notre étude en recherche à déterminer la distribution de la température et l'évaluation du flux de chaleur à travers la paroi.

DISPLAY → contours → température

Pour visualiser la répartition de température à travers les parois.

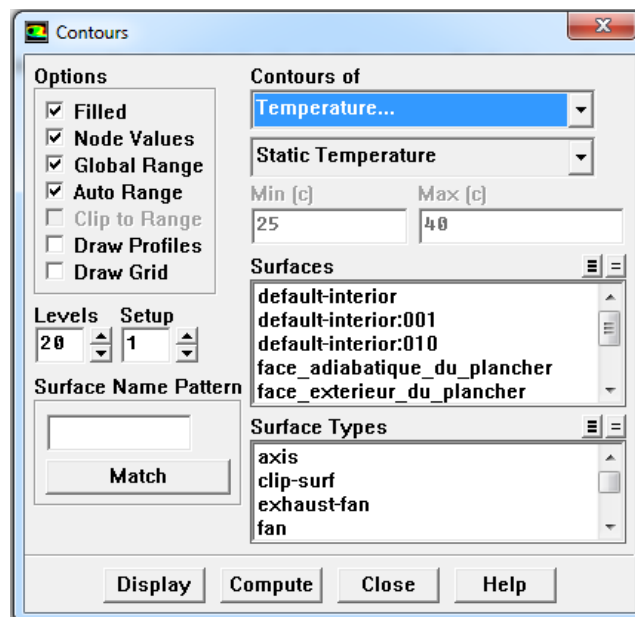


Figure IV.17: Affichage des répartitions de température dans le modèle.

Rapports → flux → total heat transfer rate

Afin de déterminer le flux de chaleur total ainsi le flux de chaleur traversant le pont thermique. Et comme le flux de chaleur à travers le pont thermique égale au rapport du flux de chaleur total généré et celui des flux associés aux autres composants du modèle, donc on procède comme suite :

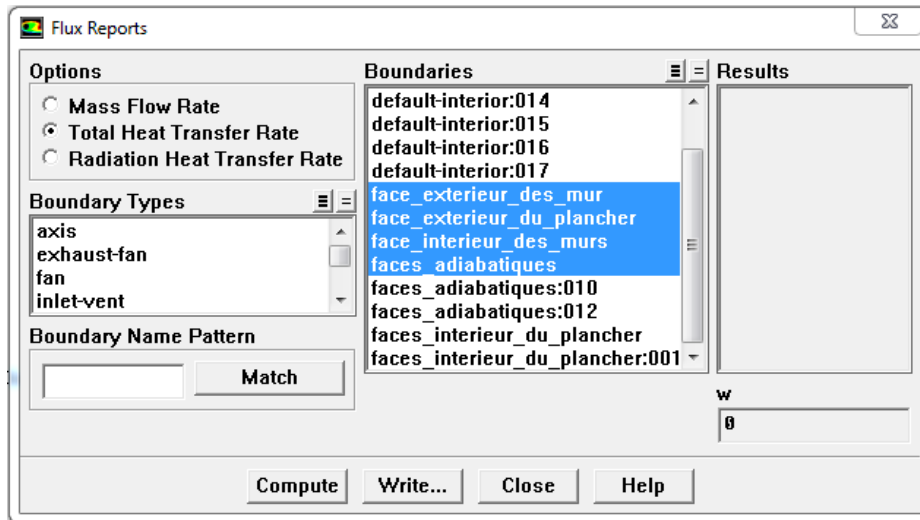


Figure IV.18: Affichage des résultats numériques.

IV.8 Résultats

IV.8.1 Apport de chaleur (Période estivale)

Cas 1 : Absence d'isolation.

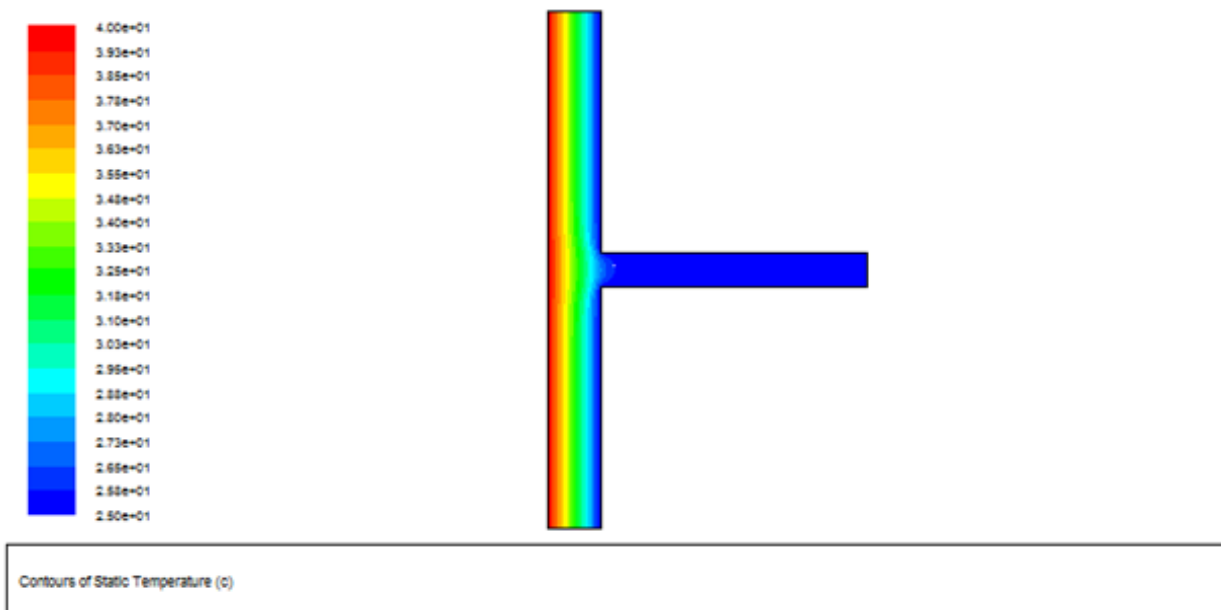


Figure IV.19: Distribution de température à travers la paroi en absence d'isolant (Période estivale).

Flux total à travers la face Externe (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
78,98	61.25	17,73	22,44

Tableau IV.3: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique en absence d'isolant (Période estival).

Cas 2: Isolation de la paroi intérieure.

a) Avec un isolant d'épaisseur 2 cm :

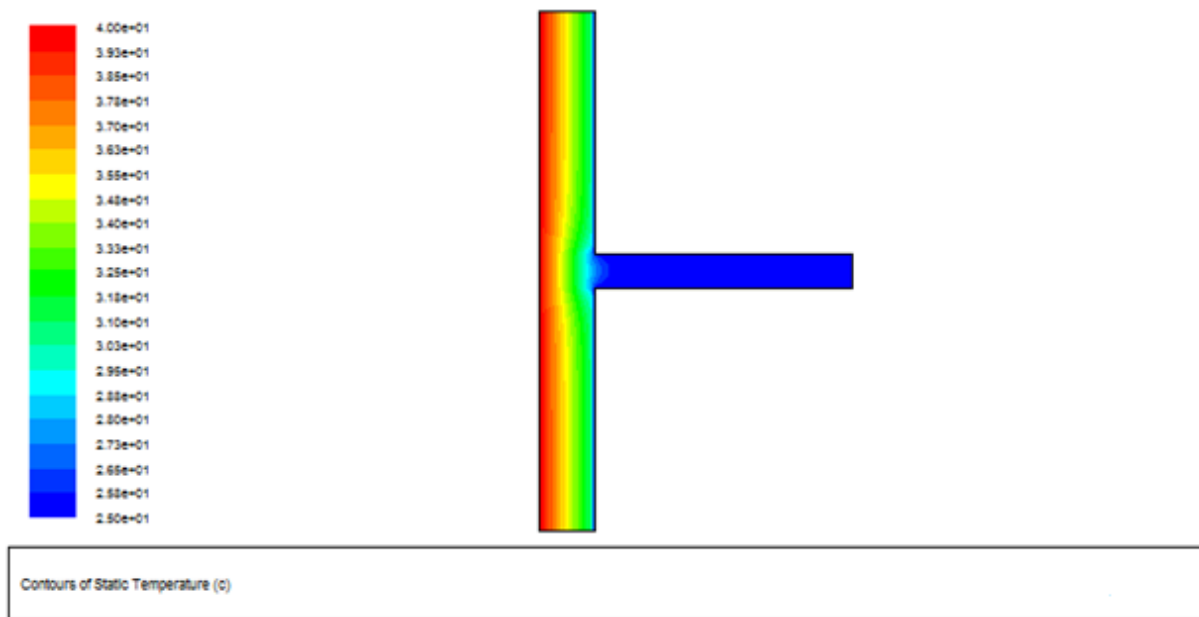


Figure IV.20: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne e=2cm (Période estivale).

b) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm :

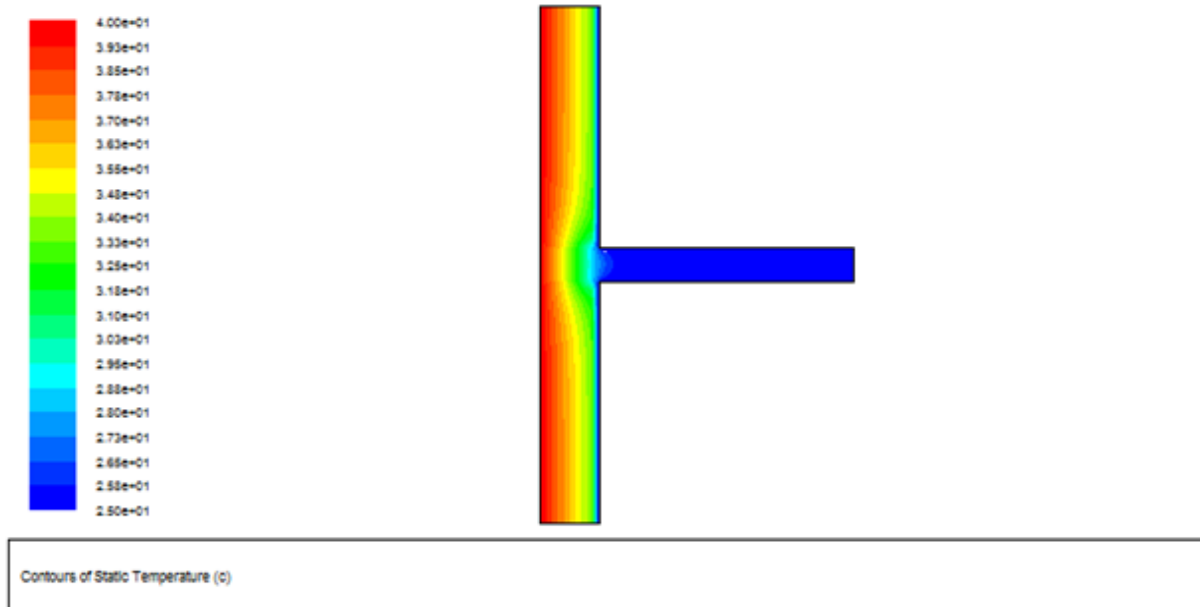


Figure IV.21: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne $e=4\text{cm}$ (Période estivale).

Epaisseur de l'isolant	Flux total à travers la face externe (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
$e=2\text{ cm}$	55.20	34.82	20.38	36,92
$e=4\text{ cm}$	44.62	24.83	19.78	44,34

Tableau IV.4 : Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs (Période estivale).

Cas 3: Isolation de la paroi intérieure du mur et du plancher.

a) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et retour d'isolant de 30 cm de longueur :

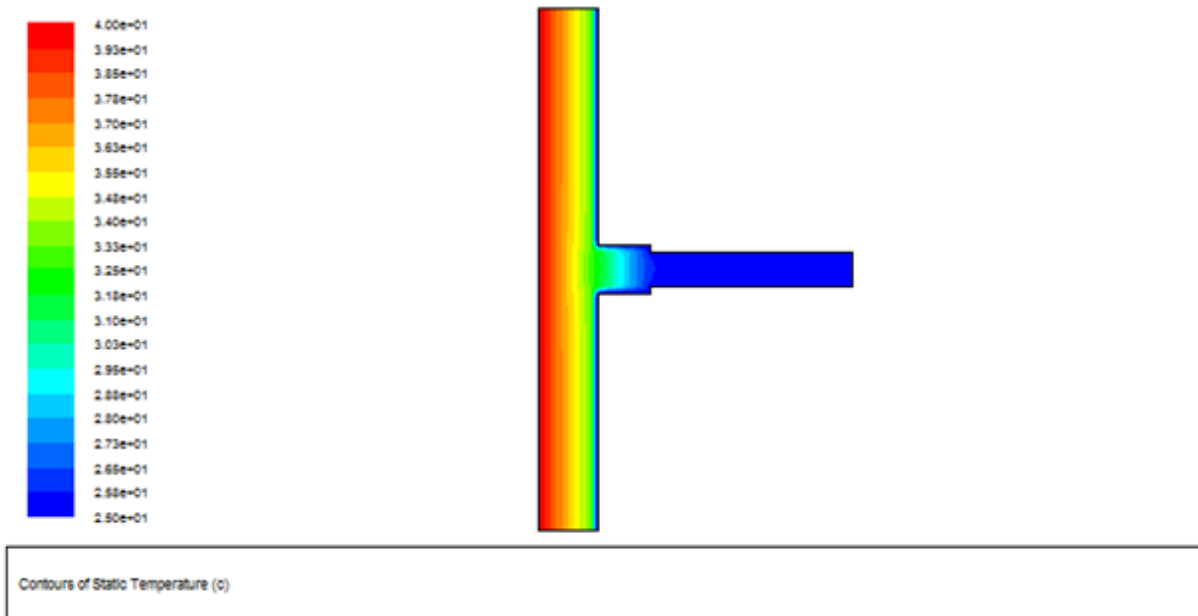


Figure IV.22: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher $e=2\text{cm}$ et $L=30\text{ cm}$ (Période estivale).

b) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et retour d'isolant de 50 cm de longueur :

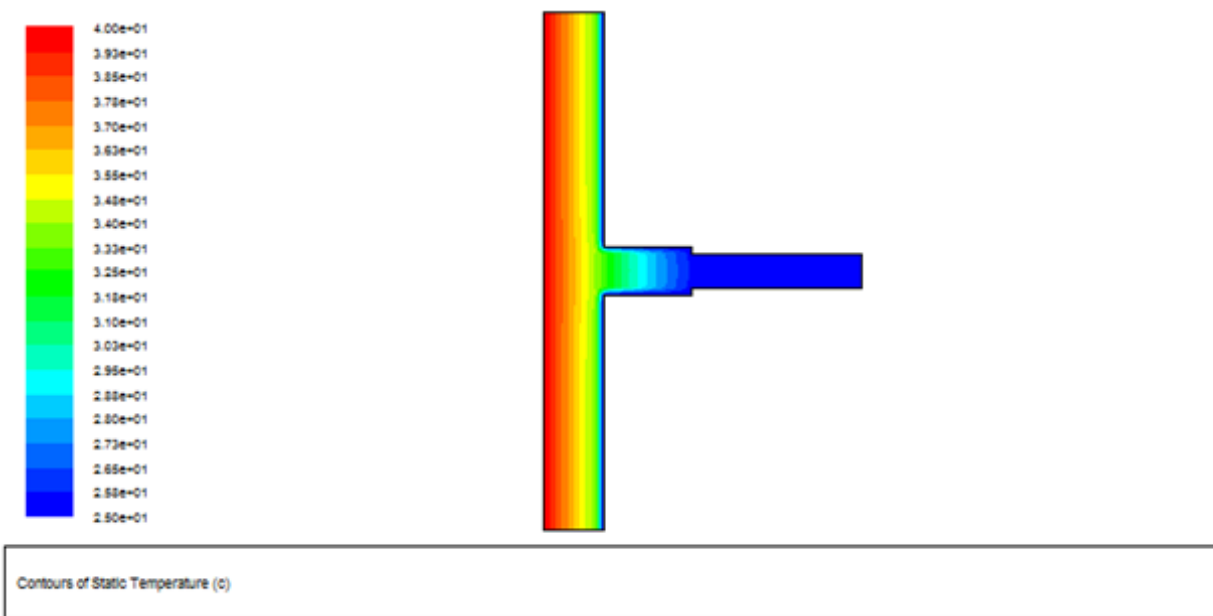


Figure IV.23: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher $e=2\text{cm}$ et $L=50\text{ cm}$ (Période estivale).

Longueur du retour d'isolant	Flux total à travers la face externe (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
$L_{ti}= 30 \text{ cm}$	36.58	25.27	11.30	30,89
$L_{ti}= 50 \text{ cm}$	35.21	25.43	9.77	27,76

Tableau IV.5: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs et du plancher (Période estivale).

En période estivale, en procédant à l'isolation de la paroi par sa face interne, on constate à travers les figures (IV 20 à 23) que la distribution de température tend à s'homogénéiser. En effet, le flux de chaleur total qui était de 78.98 W/m pour la paroi sans isolation (Tableau IV.3) devient 55.20 W/m avec un isolant de 2 cm, 44.62 W/m pour une épaisseur de 4 cm (Tableau IV.4) puis 36.58 W/m avec l'adjonction d'un isolant de 30 cm le long du plancher et enfin 36.21 W/m avec 50 cm de cet isolant.

Par contre le flux de chaleur transmis à travers le pont thermique reste quasi constant en adoptant seulement l'isolation de la face interne de la paroi (Tableau IV-4). Il est affecté par l'isolation du plancher (Tableau IV.5).

Cas 4: Isolation du côté extérieur.

Avec un isolant d'épaisseur 4 cm :

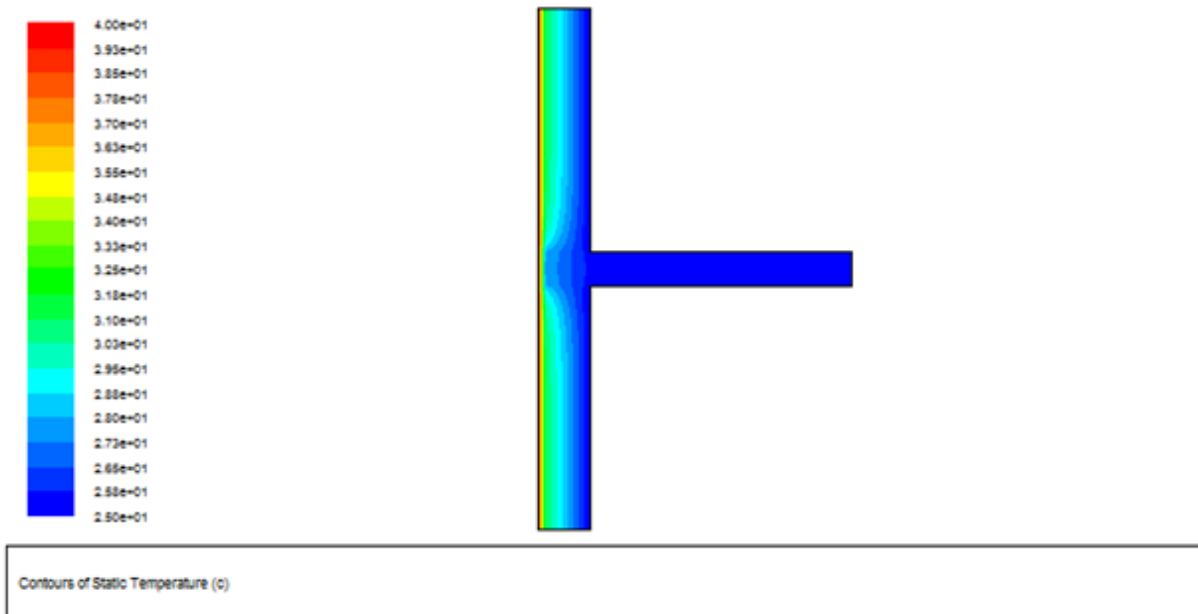


Figure IV.24: Distribution de température à travers la paroi avec isolation externe (Période estivale)

Flux total à travers la face externe (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
30,82	26.49	4.33	14,07

Tableau IV.6: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe (Période estivale).

Par ailleurs, l’isolation de la paroi seulement par sa face externe permet de réduire considérablement les flux de chaleur (Tableau IV.6).

Le pont thermique laisse passer seulement 4.33 W/m pour un flux de chaleur total de 30.82 W/m.

Cas 5: Isolation des côtés intérieur et extérieur.

Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et retour d'isolant de 50 cm de longueur :

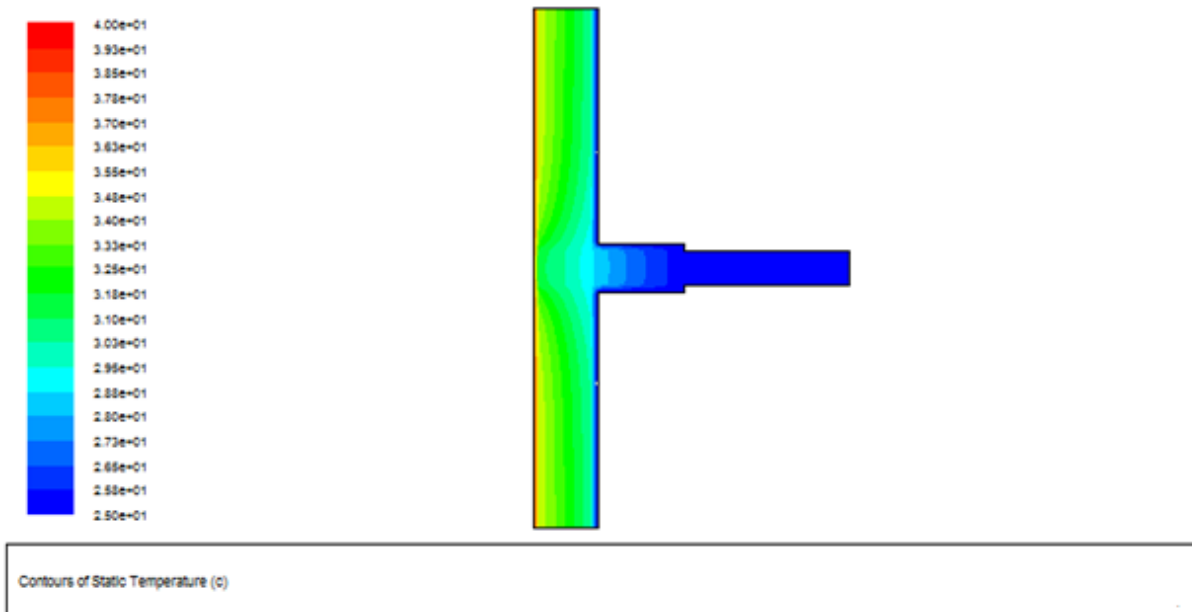


Figure IV.25: Distribution de température à travers la paroi avec isolation mixte interne/externe (Période estivale).

Flux total à travers la face externe (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
19.76	15.34	4,42	22,37

Tableau IV.7: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe/interne (Période estivale).

L'utilisation simultanée de l'isolation par les faces interne et externe ne réduit pas de façon significative la transmission de chaleur à travers le pont thermique. En effet, on obtient un flux de chaleur total de 19.76 W/m contre un flux de 4.42 W/m à travers le pont thermique.

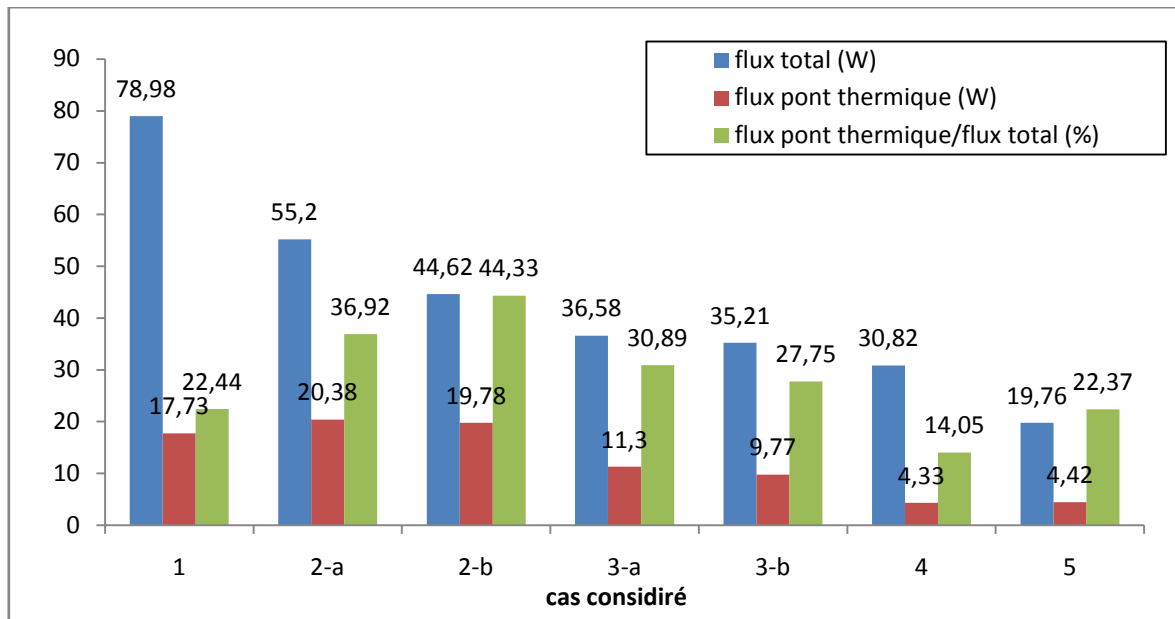


Figure IV.26: Apports de chaleur (W) à travers la paroi pour différentes dispositions et d'épaisseurs d'isolant (Période estivale).

La figure (IV.26) synthétise les différents résultats relatifs aux apports thermiques en période estivale. Il apparaît clairement que le flux de chaleur va en diminuant du cas 1 au 5, l'isolation par les faces extérieure et intérieure offre la meilleure configuration (cas 5).

En outre, l'isolation par la face extérieure apparaît la plus appropriée.

IV.8.2 Pertes de chaleur (Période hivernale)

Cas 1: Absence d'isolation.

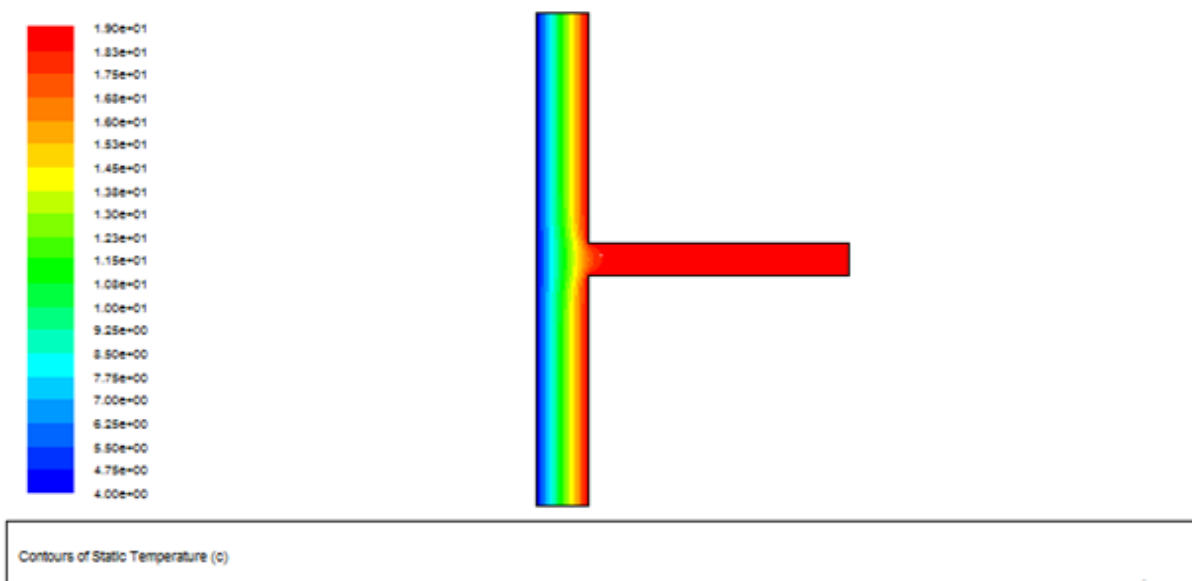


Figure IV.27: Distribution de température à travers la paroi en absence d'isolant (Période hivernale)

Flux total à travers la face externe (W)	Face externe du mur	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
78.99	58.26	20.72	26.23

Tableau IV.8: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique en absence d'isolant.

Cas 2: Isolation de la paroi intérieure.

a) Avec un isolant d'épaisseur 2 cm :

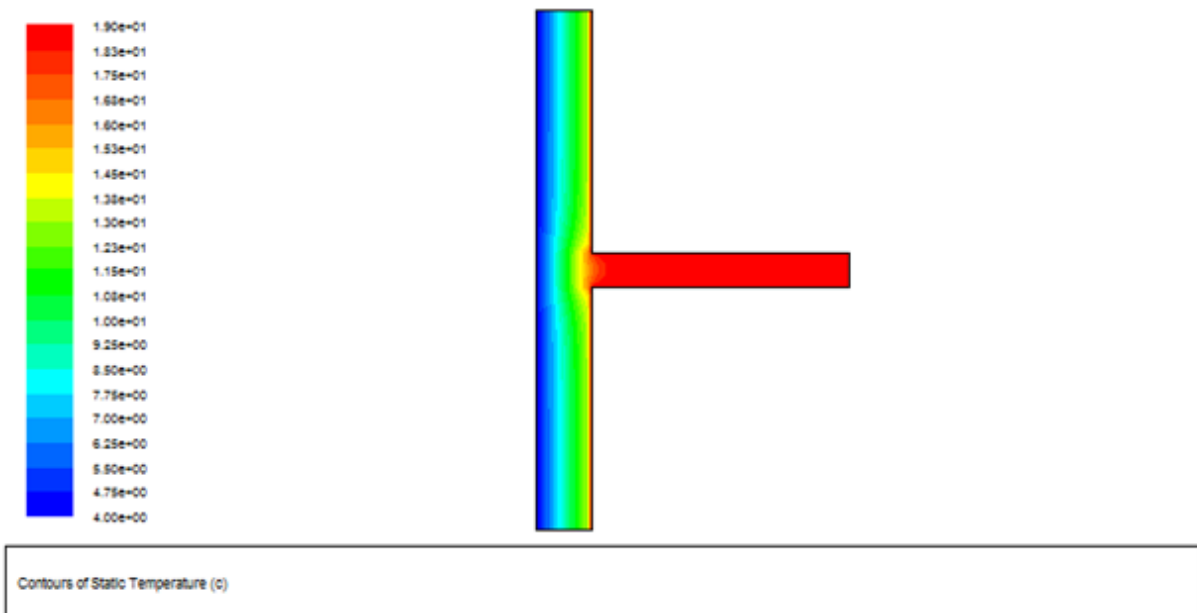


Figure IV.28: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs e=2cm (Période hivernale).

b) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm :

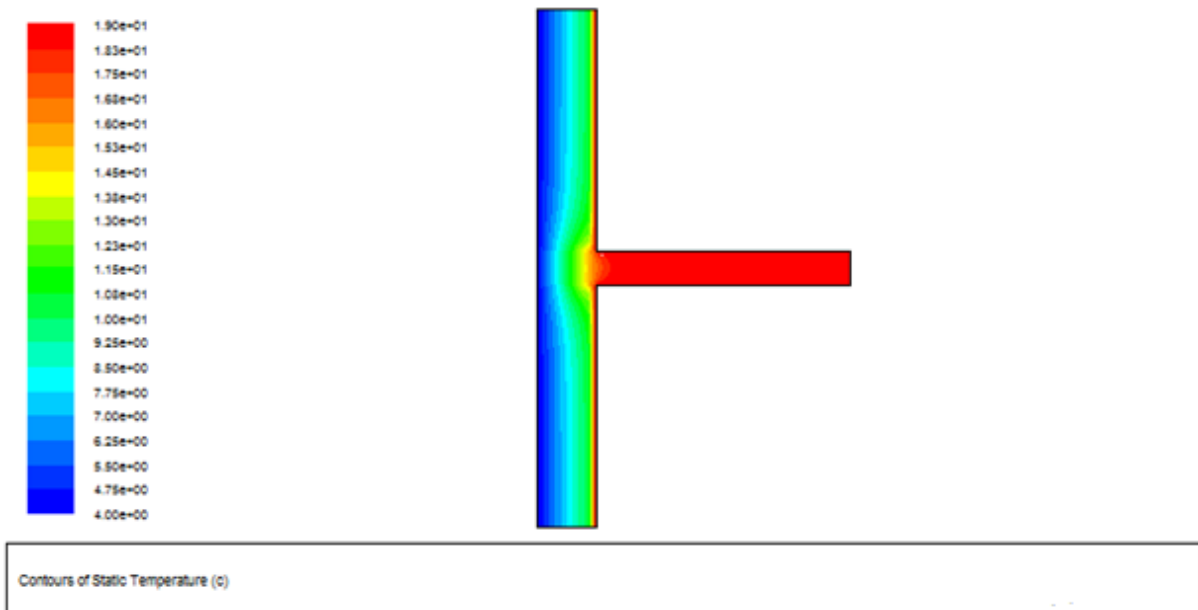


Figure IV.29: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs $e=4\text{cm}$ (Période hivernale).

Epaisseur de l'isolant	Flux total à travers la face interne (W)	Face externe du mur	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
$e=2\text{ cm}$	55.27	37.18	18.08	32.72
$e=4\text{ cm}$	44.65	28.12	16.53	37.02

Tableau IV.9: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs (Période hivernale).

Cas 3: Isolation de la paroi intérieure du mur et du plancher.

a) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et retour d'isolant de 30 cm de longueur :

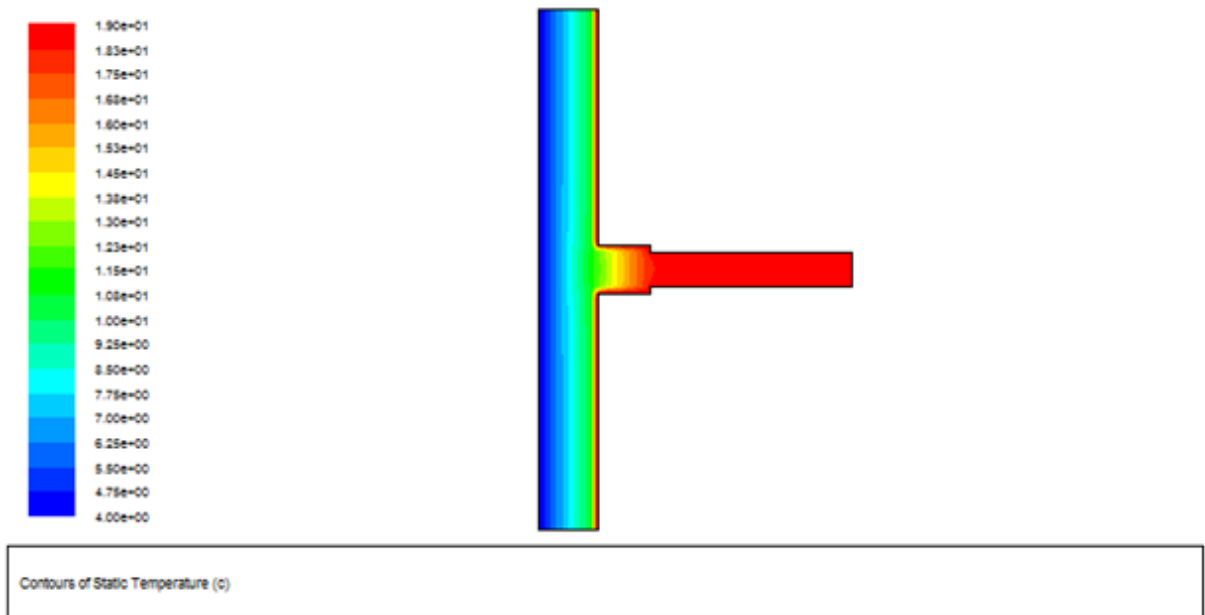


Figure IV.30: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher $e=4\text{cm}$ et $L=30\text{ cm}$ (Période hivernale).

b) Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et retour d'isolant de 50 cm de longueur :

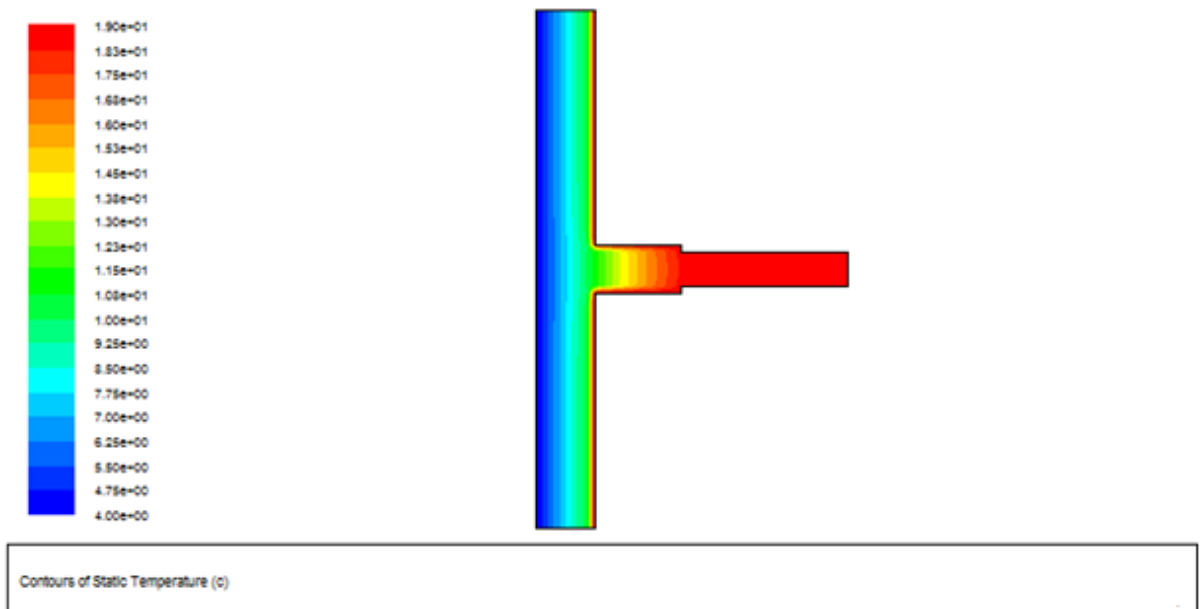


Figure IV.31: Distribution de température à travers la paroi avec isolation interne des murs et du plancher $e=4\text{ cm}$ et $L=50\text{ cm}$ (Période hivernale).

Longueur du retour d'isolant	Flux total à travers la face interne (W)	Face externe du mur	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
$L_{ri} = 30 \text{ cm}$	36.60	26.01	10.59	28.94
$L_{ri} = 50 \text{ cm}$	35.21	25.64	9.77	27.76

Tableau IV.10: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation interne des murs et du plancher (Période hivernale).

Cas 4: Isolation du côté extérieur.

Avec un isolant d'épaisseur 4 cm :

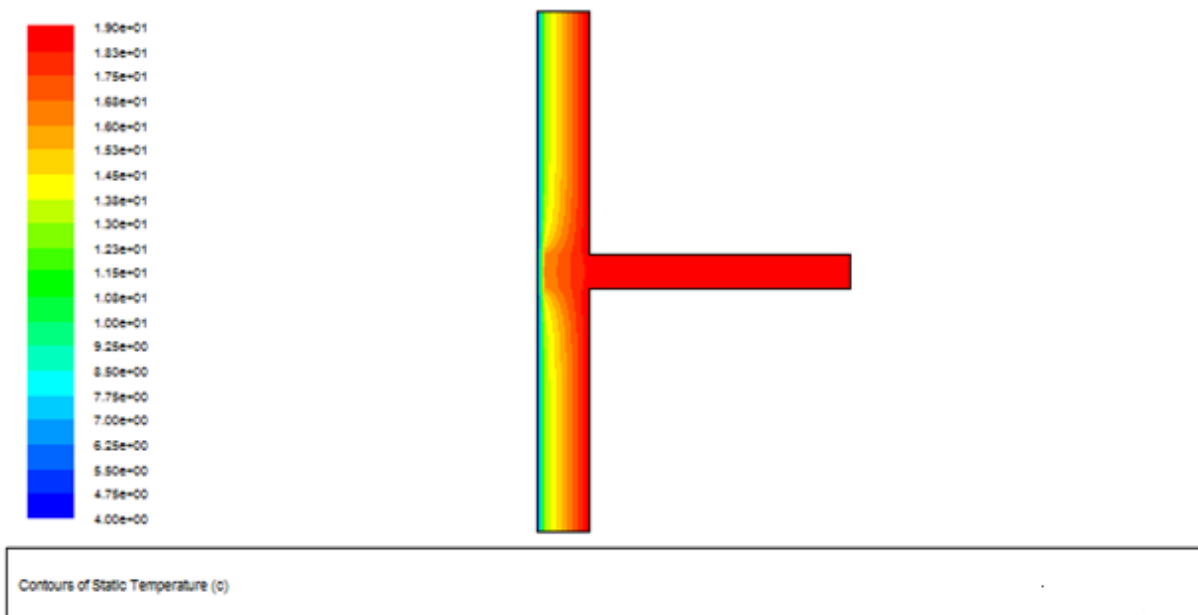


Figure IV.32: Distribution de température à travers la paroi avec isolation externe. (Période hivernale)

Flux total à travers la face interne (W)	Face externe du mur	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
30.81	28.15	2.65	8.62

Tableau IV.11: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation externe.

Cas 5: Isolation des côtés intérieur et extérieur.

Avec un isolant d'épaisseur 4 cm et un retour d'isolant de 30 cm de longueur :

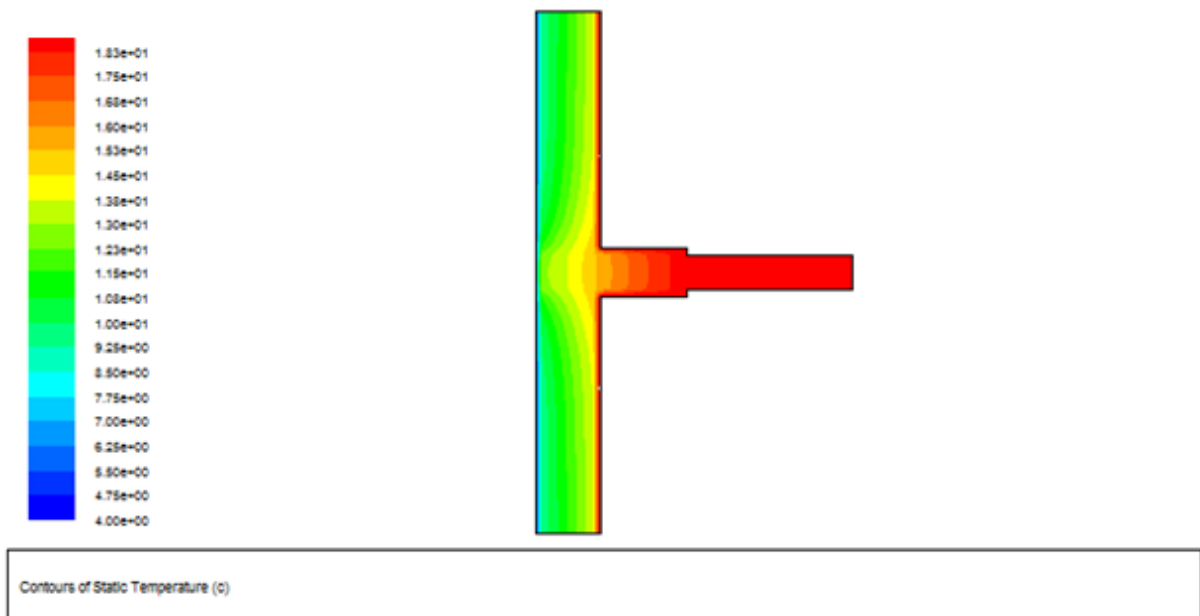


Figure IV.33: Distribution de température à travers la paroi avec isolation mixte interne/externe (Période hivernale).

Flux total à travers la face interne (W)	Flux de chaleur à travers la face interne du mur (W)	Flux de chaleur à travers le pont thermique (W)	Déperdition/ Flux total généré (%)
19.76	17.85	1.91	9.67

Tableau IV.12: Flux de chaleur aux différentes faces de la paroi et taux de fuite à travers le pont thermique avec isolation mixte interne/externe (Période hivernale).

Pour le cas des déperditions thermiques en période hivernale, le même constat est observé, la face externe permet de réduire significativement le flux de chaleur. Le recours à l'isolation par la face interne est aussi efficace avec l'adjonction d'isolant sur le plancher sur une longueur de 30 cm, Tableaux (IV. 8 à 12). Par contre les flux de chaleur transmis par les ponts thermique sont plus faibles par rapport à la période estivale (Figure IV.34)

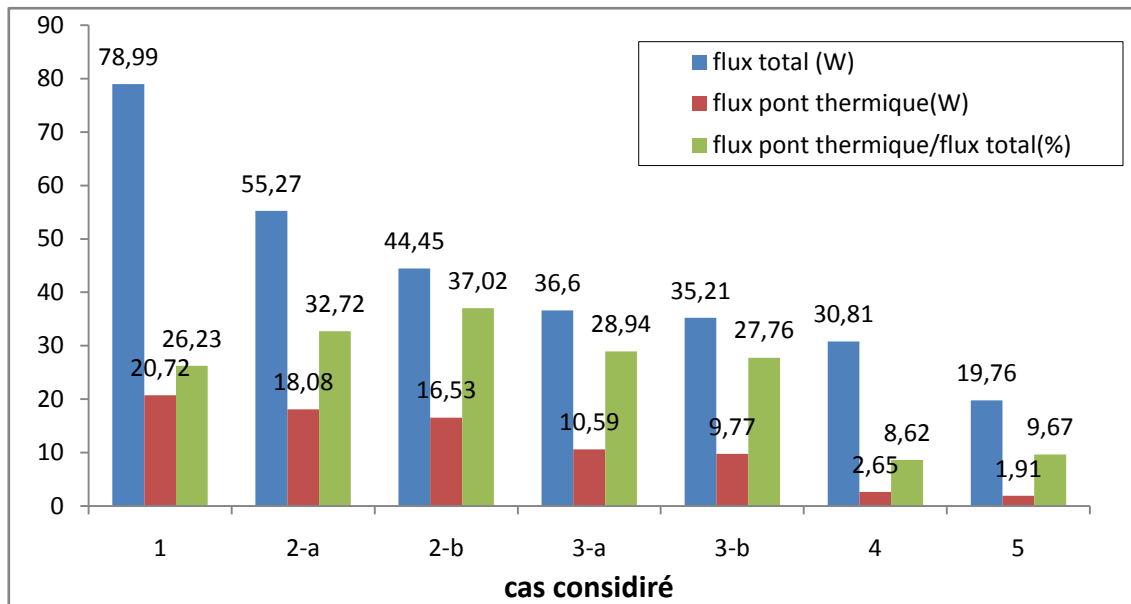


Figure IV.34: Déperdition de chaleur (W) à travers la paroi pour différentes dispositions et d'épaisseurs d'isolant (Période hivernale).

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude paramétrique permettant d'évaluer le flux de chaleur transmis à travers le pont thermique pris en considération. A travers les résultats obtenus dans ce chapitre, on peut conclure que :

L'isolation thermique est un paramètre majeur dans la performance des bâtiments. Effectivement, il est clair que le flux de chaleur total à travers la construction est plus important en absence d'isolation, d'où pour un même écart de température entre l'intérieur et l'extérieur de la paroi, soit de 15°C pour les périodes estivale ainsi que hivernale, le flux de chaleur total généré en absence d'isolation est de 78.99W, une valeur qui ne cesse de diminuer pour chaque niveau d'isolation imposé selon l'épaisseur ou/et l'emplacement de l'isolant jusqu'à atteindre la valeur de 19.67W pour une isolation mixte, soit une réduction de 75% d'apport/déperdition de chaleur.

L'influence des ponts thermiques sur l'apports/déperditions thermique est plus importante lorsque l'enveloppe du bâtiment est isolé par l'intérieur, plus les niveaux d'isolation des parois augmentent, plus la part relative des ponts thermiques dans les apports/déperditions est importante. En effet, dans notre cas d'étude, les résultats montre que le taux d'apports/déperditions de chaleur à travers le pont thermique en absence d'isolation est faible par rapport aux flux de chaleur total, soit 22.44% pour la période estivale et 26.23% pour la période hivernale, Par contre pour le cas d'isolation interne, l'impact du pont thermique devient plus important, d'où on a enregistré un taux d'apport de chaleur à travers le pont thermiques de 44.34% du flux total, et 37.02% pour les pertes vers l'extérieur.

L'intégration d'un retour d'isolant sur le plancher peut réduire le flux de chaleur à travers le pont thermique. En effet, une diminution remarquable dans la quantité du flux de chaleur à travers le pont thermique à était enregistré par rapport à l'isolation interne des murs, soit un taux de 50.35% de réduction des apports de chaleur vers l'intérieur en période estival, et 40.89% de réduction des déperditions vers l'extérieur en période hivernale.

Pour une meilleur minimisation des impacts de ponts thermiques, l'isolation extérieure semble la plus adapter, cela est bien apparu dans les résultats obtenus. En effet, pour une épaisseur de 4 cm d'isolant placer sur la face externe de la paroi, on remarque que le flux de chaleur à travers le pont thermique est le plus faible, ou il atteint la valeur de 4.33W pour la période estival, et 2.65W pour la période hivernal, soit un taux de 87.21% de réduction par rapport au cas d'absence d'isolation,, et de 72.87 % de réduction par rapport au cas d'isolation intérieur.

Conclusion générale :

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'impact des ponts thermiques sur le transfert de chaleur à travers différentes dispositions de parois sujettes à des ponts thermiques. Afin d'évaluer l'influence des ponts thermiques sur les déperditions thermiques des bâtiments, et déterminer l'effet de l'isolation thermique dans la minimisation des impacts provoquer par ces derniers, Pour atteindre notre objectif nous avons suivi la structure suivante :

Pour le premier chapitre, on a présenté des généralités sur les ponts thermiques rencontrés dans le bâtiment, et nous avons défini les différents facteurs qui favorise leurs apparition ainsi leur conséquences.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les concepts liés à l'isolation thermique dans le secteur du bâtiment, ainsi que les solutions proposé pour lutter contre les impacts provoquer par les ponts thermiques.

Au troisième chapitre, nous avons recensé les différentes corrélations utilisés dans l'évaluation des ponts thermiques.

Le quatrième chapitre est consacré à la mise en œuvre numérique, ou nous avons présenté une étude paramétrique permettant de déterminer les déperditions thermiques à travers un type de ponts thermique au regard de divers dispositions d'isolant. Pour ce faire nous avons déterminé la distribution des températures ainsi que le flux de chaleur transmis à travers le pont thermique. Nous avons réalisé notre étude pour les gammes de températures [25°C, 40°C] en saison hivernale et [4°C, 19°C] en saison estivale. Sur la base des résultats obtenus on peut conclure que :

- L'influence des ponts thermique sur les déperditions thermique est majeur, d'où ils peuvent provoquer jusqu'à 25 % de pertes de chaleur pour les bâtiments non isolé. Et jusqu'à 40% pour les bâtiments à isolation partielle ou les ponts thermique ne sont pas pris en compte.
- L'isolation thermique est un paramètre très important dans la réduction des impacts des ponts thermiques. En effet, plus la quantité d'isolant est importante plus le passage de la chaleur à travers les ponts thermique est réduit.

- Pour un meilleur traitement des ponts thermiques, l'isolation extérieure est la plus efficace, vu sa capacité de réduire les impacts des ponts thermiques jusqu'à 87% du total de déperdition à travers ces derniers.

Références bibliographiques

- [1] SALEM, Ferakh, les ponts thermiques dans le bâtiment, CSTB Nancy (France), 2006.
- [2] Infomind Sàrl, Catalogue des ponts thermiques, Office fédéral de l'énergie OFEN, Zurich, 126 p, 2003.
- [3] Les essentiels de l'habitat, introduction à la thermique du bâtiment, disponible sur : <http://www.constuireavecsaint-gobian.fr>, (Consulter le 25/12/2021).
- [4] Règles *TH-U*. Fascicule 5/5 : Ponts thermiques, CSTB. 2008.
- [5] H. Bateau. « Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique. Habitat individuel. », Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME, Mars2008.
- [6] RénoVACT, Traitement des ponts thermiques. Disponible sur : www.KIDACOM.com. 2007.
- [7] T.Gallauziaux, Fedullo. Le grand livre de l'isolation. Ed Groupe Eyrolles. Paris, 2010.
- [8] DTR 3.2, Document technique réglementaire, Règles de calcul des déperditions calorifiques, Alger, 1997.
- [9] Règles *TH-U*. Fascicule 2/5 : Matériaux, CSTB. 2008.
- [10] site internet EXACOMPARE.fr. Comparais, choisissez et économisez. Disponible sur : <http://blog.exacompare.fr/performance-energetique/types-de-ponts-thermique>. (Consulté le 25/12/2020).
- [11] site internet Alec-montpellier.org, Isolations des planchers. Disponible sur : <http://Alec-montpellier.org/particulier/construire-et-renover-ma-maison/isolation-desplanchers>. (Consulté le 18/12/2020).
- [12] Guide Habitat, Architecture, énergie fiche N°2. Des solutions pour l'isolation. Edition juin 2014. Disponible sur : <https://nantesmetropole.coachcopro.com>
- [13] Isolation thermique par l'extérieur : les solutions menuiseries, disponible sur <https://www.paperblog.fr>
- [14] M-JEDIDI, O-BENJEDDOU, la thermique du bâtiment, paris, DUNOD, 2016.
- [15] Ana-Maria BIANCHI, Yves FAUTRELLE .Jacqueline ETAY. Bejan, Adrian , Transfert thermique. Edition Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.

-
- [16] Jean Desmons, Aide-mémoire génie climatique, Dunod, 2e édition, 2009.
- [17] Jack-P.-Holman, Heat-Transfer, Tenth Edition McGraw Hill Series in Mechanical, by the McGraw-Hill Companies. Copyright © 2010.
- [18] Guide des ponts thermiques, Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction, février 2013, Paris
- [19] Jean-Michel, Bloch-lainé, Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments, Paris, édition EYROLLES, 1977.
- [20] AFNOR. Ponts thermiques dans les bâtiments - Partie 1 : méthodes générales de calcul des ponts thermiques. NF EN ISO 10211-1, novembre 1995.
- [21] Enertech, Ponts thermiques dans les bâtiments performants, octobre 2012, disponible sur : <https://www.enertech.fr>, (consulté le 20/12/2021).
- [22] Thierry Rieser, Les ponts thermiques dans les bâtiments performants, 12p, Octobre 2012.
- [23] N. Chami, Evaluation de l'Impact des Isolants Minces Réfléchissants dans le Bâtiment,
- [24] Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Spécialité: Energétique, 19 octobre 2009.