

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
Faculté des science et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'architecture



Mémoire de Master
Option : Structure

Thème :

**Simulation numérique du comportement thermique
des fenêtres**

Présenté par : Mlle OULHACI Meriem

Soutenu le 30/09/2019 devant le jury composé de :

Mr BESSAI Touhami

Président.

Mr REZIGA Sidahmed

Examineur.

Dr MALIKI Mustapha

Encadreur.

Année universitaire
2018/2019

Remerciements....

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH qui m'aide et me donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Je souhaite adresser mes remerciements aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et qui m'ont aidé pour la rédaction de ce mémoire et tout particulièrement Dr MALIKI Mustapha pour son aide précieuse et pour le temps qu'il m'a consacré.

Je tiens à remercier les membres de jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de ma thèse ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille tous mes proches et amis, qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Table des matière

I. Introduction générale	1
Chapitre 1 : Les déperdition d'énergie dans un bâtiment.	
1.Introduction	2
2.Consommation d'énergie finale en Algérie :.....	2
2.1. Répartition de la consommation finale par secteur d'activité	3
2.2. Répartition de la consommation finale par forme d'énergie	3
2.3. La consommation finale du secteur résidentiel :.....	4
2.3.1.Répartition de la consommation du secteur Résidentiel	4
2.4. La consommation énergétique du secteur tertiaire :.....	4
2.4.1. Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie	4
3. Les foyers de consommation d'énergie dans un logement :.....	5
3.1. Les équipements :.....	5
3.1.1. Chauffage	5
3.1.2. Electricité	5
3.1.3. Cuisson	5
3.1.4. Energie de chauffage orientée eau chaude sanitaire (ECS)	5
4. Les déperditions thermiques dans un bâtiment :.....	6
4.1. La toiture	7
4.2. Les murs	8
4.3. Le plancher bas	8
4.4. Les pont thermiques	8
4.5. Déperdition par le renouvellement d'air	9

4.6. Les fenêtres	9
5. Cas du parc immobilier algérien	10
5.1. Programmes en cours de lancement en Algérie	11
6. Le confort thermique	13
6.1. Facteurs influant sur le confort thermique	13
6.1.1. Température de l'air	13
6.1.2. Humidité de l'air	13
6.1.3. Courants d'air	14
7. Evaluation des performances énergétiques	14
7.1. Le bilan thermique	14
8. Conclusion	14

Chapitre 2 : Mécanisme de transfert de chaleur .

1. Introduction	16
2. La conduction thermique (diffusion thermique):	16
2.1. Régime permanent	17
2.1.1. Loi de Fourier	18
2.1.2. Conductivité thermique de quelques matériaux courants	18
2.2. Analogie électrique :	20
2.2.1. Résistance thermique	20
2.2.2. Résistance de contact thermique	20
3. La convection thermique :.....	21
3.1. Convection naturelle (libre)	21
3.2. Convection forcée :.....	22
3.2.1. Expression du flux de chaleur en convection (loi de Newton)	22
4. Rayonnement :.....	24

4.1. Caractéristique du rayonnement thermique :.....	24
4.1.1. Emission	24
4.1.2. Absorption	24
4.1.3. Réflexion et diffusion	24
4.1.4. Transparence et opacité	25
5. Equation de conservation de la chaleur :.....	25
5.1. Forme générale de l'équation :.....	25
6. Conclusion	26

Chapitre 3 : Les normes appliquées au fenêtres.

1. Le marquages CE :.....	27
1.2. Les caractéristiques	27
1.3. Les procédures d'évaluation de la conformité des produits	27
2. Norme NF :.....	28
2.1. Caractéristiques	28
3. Certification CEKAL :.....	28
3.1. Les types de vitrages concernés :.....	29
3.1.1. Le vitrage isolant	29
3.1.2. Le vitrage feuilleté	29
3.2. Performance thermique :.....	29
3.2.1. le coefficient de transmission thermique U_g	29
3.3. Performance acoustique :.....	30
3.3.1. L'indice d'affaiblissement acoustique	30
3.3.2. Classe de performance acoustiques	30
3.4. Performance de sécurité :.....	30

3.4.1. Vitrage feuilleté	30
3.5. Durabilité	30
3.6. La perméabilité à l'air :.....	31
3.6.1. Valeurs limites pour un classement basé sur la surface totale	31
3.6.2. Valeurs limites pour un classement basé sur la longueur de joint ouvrant ..	31
3.6.3. Résultat final	32
3.7. L'étanchéité à l'eau	32
4. CSTBbat	32
4.1 Le certificat ACOTHERM :.....	33
4.1.1. Performance thermique AC	33
4.1.2. Performance thermique TH	34
5. Label QUALICOAT :.....	34
5.1. Les caractéristiques contrôlées	34
6. Le label QUALIMARINE :.....	34
6.1. Les caractéristiques contrôlées	35
7. Le label QUALIDECO :.....	35
7.1. Les techniques utilisées	35
7.2. Les spécifications techniques	35
8. Le label QUALANDO :.....	35
8.1. Les caractéristique contrôlées	36
9. L'industrie des fenêtres en Algérie :.....	36
9.1. Présentation	36
9.2. Les gammes des fenêtres :.....	36

9.2.1. PVC	36
9.2.2. Aluminium	38

Chapitre 4 : Simulation numérique des performances thermiques des fenêtres.

1. Introduction	41
2. Définition du modèle :.....	41
2.1. Cavités d'air	42
2.1.1. Cavité rectangulaire non ventilée	42
2.1.2. Cavités rectangulaire légèrement ventilées	43
2.1.3. Cavités non rectangulaires	44
3. Conditions aux limites	44
4. Description des quatre applications	45
4.1. Application 1: cadre en aluminium avec rupture de pont thermique	46
4.2. Application 2: cadre en bois recouvert d'aluminium	46
4.3 Application 3: cadre en PVC avec renfort en acier	47
4.4 Application 4: cadre en PVC	48
5. Résultats et discussions	49
5.1. Profils des températures	49
5.2 Validation	52
6. Conclusion	53
II. Conclusion général	54

Résumé

En Algérie, le secteur du bâtiment représente à lui seul 40% de la consommation d'énergie finale. La nécessité de réduire cette consommation est désormais plus qu'une nécessité au vu du contexte énergétique difficile que traverse le pays.

Le travail réalisé ici concerne essentiellement la simulation numérique du comportement thermique de quelques types de fenêtres. En effet, les normes internationales préconisent l'utilisation de fenêtres à hautes performance énergétiques. L'Algérie a franchi un pas important ces dernières années en introduisant une large gamme de fenêtre répondant à ces normes.

Notre contribution principale à ce sujet réside dans la réalisation d'une simulation numérique, le comportement thermiques de différentes sections de fenêtres composées de divers matériaux (PVC, Bois, aluminium, ...) a été étudié et validé.

ملخص

في الجزائر ، يمثل قطاع البناء لوحده 40% من الاستهلاك النهائي للطاقة. والحاجة إلى الحد من هذا الاستهلاك هي الآن أكثر من ضرورة نظرا لصعوبة بيئة الطاقة في البلد.

العمل المنجز هنا يتعلق أساسا بالمحاكاة العددية للسلوك الحراري لبعض أنواع النوافذ. وتستدعي المعايير الدولية استخدام نوافذ الطاقة ذات الكفاءة العالية. وقد اتخذت الجزائر خطوه هامه في السنوات الاخيريه بإدخال مجموعه واسعه من النوافذ التي تستوفي هذه المعايير.

مساهمتنا الرئيسية في هذا الموضوع تكمن في تحقيق المحاكاة العددية، والسلوك الحراري لأقسام مختلفة من النوافذ التي تتألف من مواد مختلفة (PVC ، الخشب، ألومنيوم،...) تمت دراستها والتحقق من صحتها.

Liste des Symboles

Symboles Latins

R : Résistance thermique ($m^2.K/W$)

C : capacité thermique surfacique ($W/m^2.K$)

T : Température (K)

U : Coefficient de transfert surfacique ($W/m^2.k$)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($W/m^2.K$)

S : Aire de la surface (m^2)

t : temps (s)

Symboles Grecs

w : Teneur en humidité (kg/m^3)

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

Φ : Densité de flux de chaleur (W/m)

ρ : Masse volumique (Kg/m^3)

λ : Conductivité thermique (W/m.K)

α : Diffusivité thermique (m^2/s)

Introduction générale

Le monde entier est confronté à une augmentation de la consommation énergétique d'une façon accrue depuis déjà plusieurs décennies. Cette augmentation remet fondamentalement en cause le modèle économique qui est tributaire pour son développement d'une quantité colossale d'énergie.

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie. Les fenêtres et autres surfaces vitrées représentent une part non négligeable des déperditions globales d'énergie par l'enveloppe d'un bâtiment.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres. Le chapitre 1 présente une recherche détaillée sur le contexte énergétique général en Algérie, en situant les foyers de consommation par secteur d'activité et au sein d'un foyer. Les chemins de déperditions dans un bâtiment ont été clairement mis en évidence.

Le chapitre 2 expose les différents concepts thermo-physiques de base concernant les mécanismes de transport de chaleur dans les matériaux de construction, à savoir la conduction, la convection et le rayonnement, l'équation générale de transfert de chaleur a été présentée.

Le chapitre 3 a été dédié aux principales normes européennes concernant la conception des fenêtres en PVC ou en aluminium. L'expérience algérienne en la matière y a été présentée

Une simulation numériques via le logiciel commercial à base d'éléments finis COMSOL-Multiphysiques a été mise en œuvre en chapitre 4, elle permet de simuler le comportement thermique en régime permanents de différentes sections de cadres de fenêtres.

Pour valider notre outil, quatre exemples de fenêtres issus de la norme ISO 10077-2: 2012 ont été utilisés, une concordance satisfaisante dans les résultats est observée.

Le travail se termine par une conclusion générale.

Chapitre 1

Les déperditions d'énergie dans un bâtiment

1. Introduction :

Les déperditions d'énergie est la perte de chaleur provoquée par une mauvaise isolation comme elle est considéré comme une source d'inconfort et d'appauvrissement des ménages qui y logent; due aux interactions entre milieux intérieur et extérieur et aux échanges de fluide d'air qui en résulte.

A l'échelle d'un bâtiment, l'analyse des interactions entre les éléments d'isolation thermique des bâtiments fait habituellement l'objet d'un diagnostic par les experts techniques de la construction.

Vivre dans des logements présentant des pertes thermiques plus ou moins importantes est le résultat de plusieurs facteurs comportementaux (sensation de froid, attitude économe, etc.) ou structurels (situation socio-économique, etc.) caractérisant les ménages. Analyser ces facteurs requiert une mobilisation conjointe de données socioéconomiques et de données techniques

Chaque habitation présente ses propres caractéristiques et contraintes, nous pouvons néanmoins évaluer leurs parts dans la performance énergétique globale du bâtiment.

Plus la déperdition thermique d'une maison est élevée, plus la maison sera énergivore. En pratique, les occupants devront pour leur confort solliciter leur système de chauffage et donc consommer plus d'énergie. Victime d'une déperdition thermique très importante, certains logements généralement anciens sont qualifiés de passoires énergétiques. L'enjeu économique et environnemental est dans tous les cas primordial.

Ces déperditions ont impact important sur la facture énergétique de la maison et une des causes qui peuvent aggraver votre consommation d'énergie.

2. Consommation d'énergie finale en Algérie :

Le bilan énergétique national la consommation d'énergie finale a atteint 44,65 millions de Tep. Année 2017 [1]

2.1. Répartition de la consommation finale par secteur d'activité :

En 2005, Le secteur des ménages et autres, est le secteur qui inclut le secteur résidentiel-tertiaire avec le secteur de l'agriculture, est le secteur le plus demandeur d'énergie avec 40%, l'industrie a une part de 25% et le transport 35% (Figure 1.1).

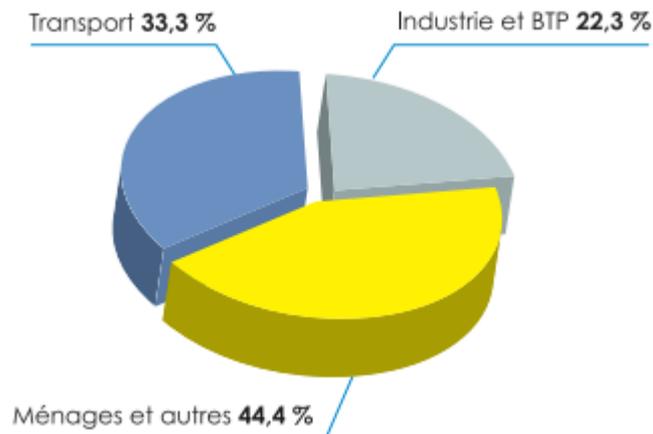


Figure 1.1: Structure de la consommation finale par secteur.

2.2. Répartition de la consommation finale par forme d'énergie :

En Algérie, les dérivés de produits pétroliers et gaziers représentent l'essentiel de la consommation de produits combustibles avec une part de 65%, suivis de l'électricité et le GPL qui peine à trouver sa place de favoris des consommateurs avec une part de 5,2%.

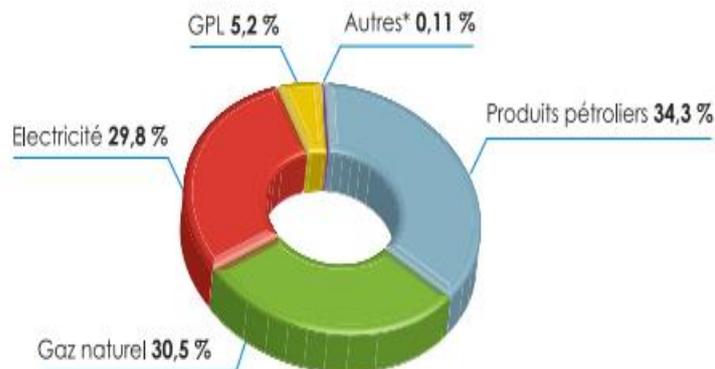


Figure 1.2: Structure de la consommation finale d'énergie par produits.

2.3. La consommation finale du secteur résidentiel :

La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 15 M de tep/pcs soit 11.6 M de tep/pci .

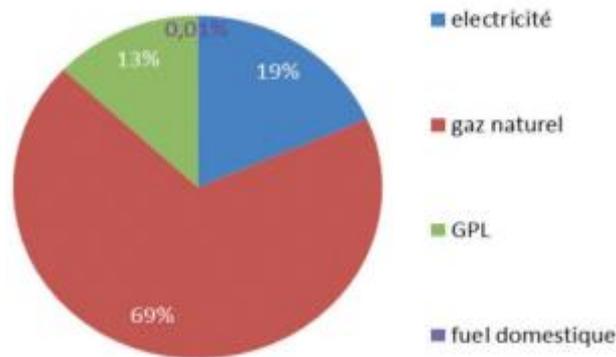


Figure 1.3 : Structure de la consommation finale du secteur résidentiel.

2.3.1. Répartition de la consommation du secteur Résidentiel par type de logement :

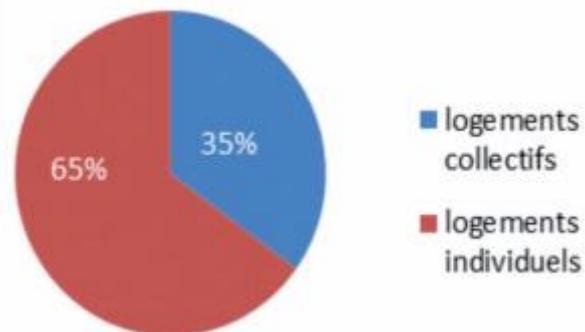


Figure 1.4 : Structure de la consommation finale par type de logement.

2.4. La consommation énergétique du secteur tertiaire :

La consommation énergétique du secteur tertiaire a atteint 4M de tep/pcs soit 2.5M de tep/pci Par branche, le nombre d'infrastructures par activités se répartie comme suit : Commerces: 544201; Administrations centrales: 26631 ; Tourisme: 49000 ; Communication:

12065 ; Education: 3950; Finances: 320 ; santé: 10390 ; Agences immobilières : 9717 ; Auxiliaire de transport : 123623.

2.4.1. Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie :

La répartition de la consommation du tertiaire par produit montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques.

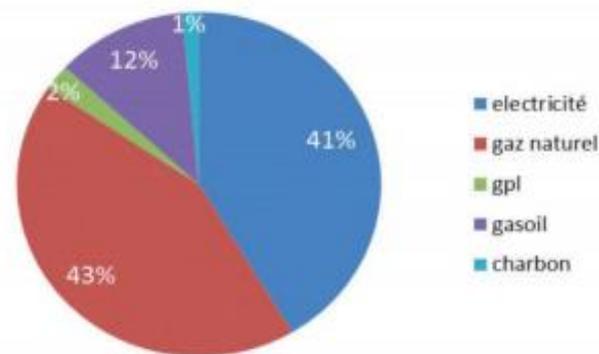


Figure 1.5 : Structure de la consommation finale par type d'énergie.

3. Les foyers de consommation d'énergie dans un logement :

3.1. Les équipements :

3.1.1. Chauffage :

Le chauffage est le système de diffusion de chaleur il est considéré comme étant le premier élément de dépense énergétique dans le secteur du bâtiment, donc il symbolise le premier degré d'inconfort pour les occupants.

Le chauffage représente 70% de la consommation d'énergie d'une maison .

3.1.2. Electricité :

La facture d'électricité a tendance d'augmenter en fonction des saisons, Il est donc important de connaître la consommation des appareils.

3. 1.3. Cuisson :

Dans un foyer, les appareils de l'électroménager représentent 40% de la consommation d'énergie dans une maison.

3. 1.4. Energie de chauffage orientée eau chaude sanitaire (ECS) :

En terme de consommation énergétique du bâtiment, l'eau chaude sanitaire représente 6% à 30% de la consommation d'énergie globale dans un logement.

L'utilisation de l'eau chaude augmente la facture énergétique, donc il faut penser à utiliser un système d'économie d'eau qui fait baisser le besoin en eau chaude et aussi la facture énergétique .

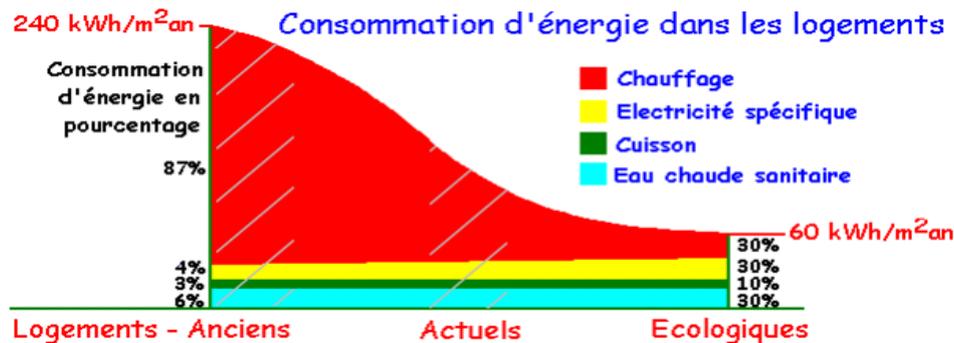


Figure 1.6 : Consommation d'énergie dans les logements (selon les normes françaises) .

4. Les déperditions thermiques dans un bâtiment :

La déperdition thermique s'effectue :

- A travers des parois qui séparent milieu intérieur et extérieur (Murs, toitures et plancher bas)
- Par l'intermédiaire des ponts thermiques.
- Par la ventilation mécanique contrôlée (VMC) et les grilles d'aération qui assurent l'indispensable renouvellement de l'air intérieur.
- Les fenêtres et surfaces vitrées qui occupent parfois une large partie des ouvertures de façades.

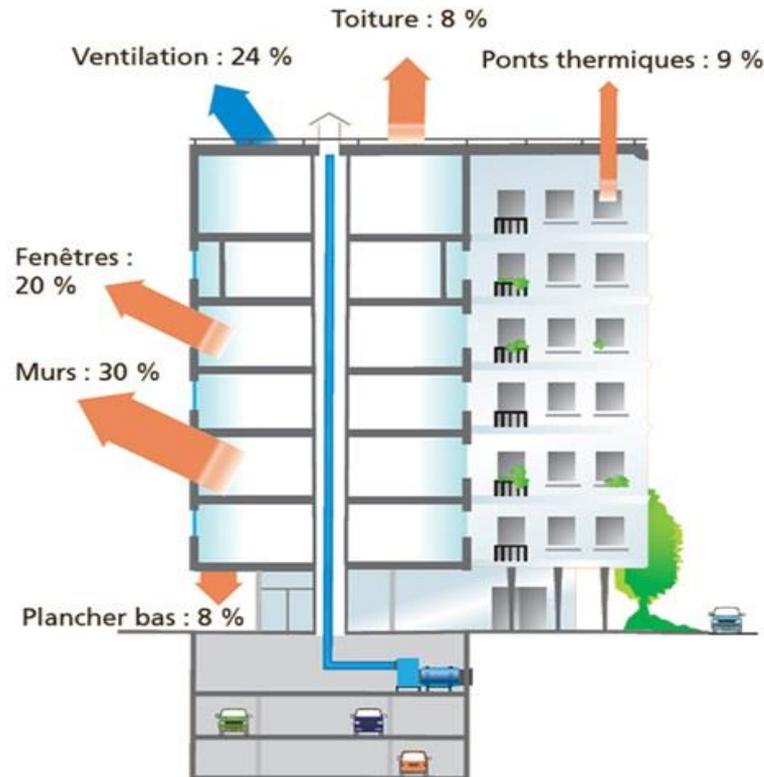


Figure 1.7 : Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé- (Ademe) .

4.1. La toiture :

Les pertes d'énergie par la toiture représente jusqu'à 10% des déperditions d'énergie dans un logement, c'est par définition la paroi qui a un contact direct avec l'extérieur de la maison, il permet la pénétration du froid ainsi que l'humidité en hiver, et la chaleur, en été.

En matière de déperdition thermique, c'est le premier point faible d'une maison, il y'a plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène :

- La surface importante de contact entre l'intérieur et l'extérieur.
- L'exposition au vent.
- La chaleur.

Les sources de ces déperditions sont :

- Manque d'isolation du dernier plafond .
- Manque d'isolation des sous-pentes et des combles .
- Fuites d'air entre les tuiles et au niveau des jonctions de la charpente avec le mur.

- Défaut d'isolation des combles et des sous-pentes, fuites d'air entre les tuiles, et au niveau des jonctions de la charpente avec le mur.

Pour lutter contre ses déperditions on utilise divers types d'isolants thermiques tels que la laine de roche ou de verre, le liège, le chanvre, la paille ...

4.2. Les murs :

Les murs présentent un quart de chaleur perdu, c'est le deuxième foyer de perte de chaleur après les toitures. Les murs prennent une grande surface d'un habitat ce qui maximise les échanges d'énergie entre l'extérieur et l'intérieur de la maison. En Algérie les murs sont mal isolés, avec une lame d'air en guise d'isolant.

4.3. Le plancher bas :

Les déperditions d'énergie dépendent du type de sous-sol : terre brute, cave et vide sanitaire. Dans une terre brute, les déperditions d'énergie sont plus grande contrairement aux caves qui sont profondes et d'un espace de contact avec le sol plus grand comparant au vides sanitaire .

4.4. Les ponts thermiques :

Ce sont les zones où se passent des fuites de chaleur, au niveau des ponts thermiques, en hiver, l'air chaud se refroidit, et l'inverse en été ce qui donne une sensation d'inconfort.

Ça nécessite de chauffer ou refroidir une maison d'une façon élevée, ce qui fait d'augmenter la facture d'énergie de l'habitat.

On peut limiter les déperditions causé par les ponts thermiques on utilisant :

La RT 2012 impose une valeur déperditif à ne pas dépasser pour les ponts thermiques entre planchers et murs extérieurs, mais également une limite à la somme de l'ensemble des ponts thermiques d'un bâtiment. Cette mesure devrait mener à une généralisation de l'isolation par l'extérieur, qui reste la meilleure façon d'éliminer la majorité des ponts thermiques. Dans les cas où seule l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) est adaptée, il est vivement conseillé de mettre en place des rupteurs de ponts thermiques et de prévoir une isolation sur chape flottante.

4.5. Déperdition par le renouvellement d'air :

Le renouvellement de l'air est un facteur important pour la santé, on ne peut pas limiter la ventilation d'un local par économie d'énergie. Mais il existe des moyens de renouvellement d'air en le tempérant qu'il pénètre un local tels que : les puits canadiens, VMC double flux..

Les déperditions d'énergies dues au renouvellement d'air se produisent à travers les fenêtres, les fissures, les ouvertures des portes, le fonctionnement des cheminées, l'ensemble des défauts d'étanchéité d'une construction par différence de température entre les deux milieux.

Actuellement, les menuiseries performantes tendent à faire disparaître ses infiltrations à renfort de joint d'étanchéité, de mastic.

4.6. Les fenêtres :

La vitre transmet la chaleur par conduction dans son épaisseur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Le vent refroidit la vitre par convection. Le Soleil chauffe l'intérieur de la pièce à travers la surface transparente. L'intérieur de la pièce lui-même perd une partie de son énergie par rayonnement vers l'extérieur. Mais la vitre bloque une grande partie du rayonnement infrarouge émis (principe de l'effet de serre).

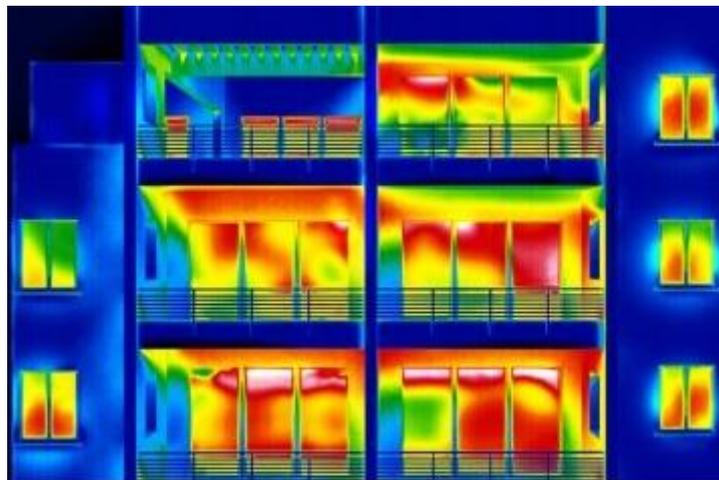


Figure 1.8 : Thermographie de la façade d'un bâtiment .

5. Cas du parc immobilier algérien:

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage d'autre part. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable et surtout peu consommateur d'énergie.

Les exigences de confort de la vie quotidienne dans les bâtiments (chauffage, climatisation...) sont à l'origine de près de 25% des émissions de gaz à effet de serre. Il apparaît aussi qu'une conception adaptée lors des constructions et la mise en œuvre permet de réduire les factures énergétiques et réduire ainsi les dépenses par habitant.

Agir sur les bâtiments, c'est donner à tous les Algériens la chance de vivre dans un habitat écologique. C'est pourquoi des mesures doivent être normalement mises en place, aussi bien pour les bâtiments existants (plus de 7 millions de logements au 1er janvier 2007) que lors de la réhabilitation des bâtiments neufs.

Les bâtiments neufs, qu'il s'agisse de logements ou de maisons individuelles doivent respecter une réglementation thermique (RT) exigeante. Pour aller encore plus loin, les objectifs de performance fixés par cette réglementation thermique pour les constructions neuves doivent être renforcés et révisés par la suite avec l'objectif d'une amélioration par rapport aux exigences actuelles.

La forte croissance de ces consommations est particulièrement préoccupante, d'autant plus que les choix d'aujourd'hui nous engagent pour toute la durée de vie des bâtiments, c'est-à-dire pour des décennies.

Au cours des 30 dernières années, la consommation d'énergie des bâtiments en Algérie a augmenté de 30% du fait de l'accroissement du parc des bâtiments, de l'augmentation des besoins en confort contribuant ainsi à une forte augmentation de la consommation d'électricité (électroménager, éclairage, bureautique, climatisation, renouvellement et traitement d'air, cuisson, ...) d'autant plus que Les réalisations de la période 2000/2006 en Algérie ont permis de hisser le taux de pénétration du gaz de 30% à 37%. Le nombre prévisionnel total de clients gaz passera d'environ 2,2 millions en 2006 à 4,5 millions en 2016, avec un taux d'accroissement annuel moyen de 7,47% et un taux de pénétration égal à 57% à l'horizon

2009. Cette forte demande d'énergie aura un impact néfaste sur l'environnement et le bâtiment en particulier.

Le protocole de Kyoto ratifié sous l'égide des Nations-unis, et dont l'Algérie est signataire, oblige les principaux pays industrialisés à réduire les émissions des gaz néfastes pour le climat. Le développement des énergies renouvelables en générale, et de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique en particulier, fait partie de ce plan.

Le Potentiel d'énergie solaire en Algérie, de par sa situation géographique, offre des gisements d'énergie solaire parmi les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures par an et peut atteindre le plafond de 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh (l'équivalent de 1/2 litre de fuel) sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au Sud du pays.

5.1. Programmes en cours de lancement en Algérie :

Dans le cadre de la mise en œuvre de la tranche annuelle 2017 du Programme National de maîtrise de l'Energie, relatif au secteur de l'industrie, l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), lance pour le compte du Ministère de l'Energie, un avis d'appel à manifestation d'intérêt pour la sélection des établissements industriels, en vue de bénéficier d'un cofinancement dans le cadre de réalisation de quarante cinq (45) études de faisabilité de projets d'efficacité énergétique.

L'APRUE lance également un avis d'appel à manifestation d'intérêt pour la sélection des établissements industriels, en vue de bénéficier d'un cofinancement dans le cadre de réalisation de quarante quatre (44) projets d'investissement, pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations ou des équipements.

Le nouveau programme national d'efficacité énergétique (PNEE) lancé depuis 2016 avec comme objectif l'isolation thermique de 100.000 logements/an.

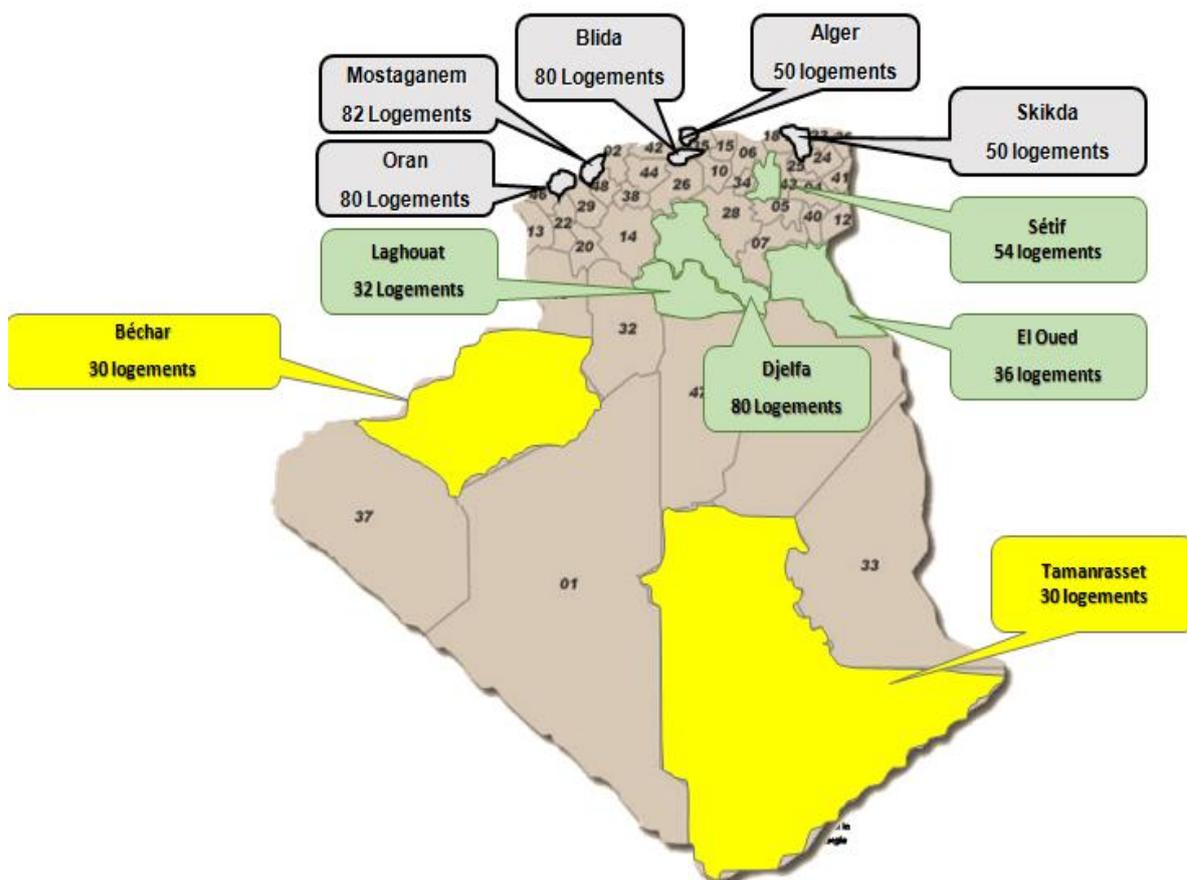


Figure 1.9 : Programme National de l'efficacité énergétique déjà réalisé.

Dans le même cadre, l'APRUE avait lancé au début du mois d'août, un avis d'appel à manifestation d'intérêt pour la sélection d'installateurs de systèmes GPL carburant, en vue de participer au programme de conversion de vingt mille (20 000) véhicules particuliers.

Cette initiative entre dans le cadre de la mise en œuvre de la tranche annuelle 2017 du Programme National de Maitrise de l'Energie relatif au secteur du transport.

L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par décret présidentiel en 1985, placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie. Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique.

6. Le confort thermique :

Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant. Pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies :

- Le corps doit maintenir une température interne stable.
- La production de sueur ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.
- Aucune partie du corps ne doit être ni trop chaude ni trop froide (inconfort local).

Si le confort thermique est souhaitable, il est souvent difficile de l'obtenir dans plusieurs milieux de travail. Toutefois, des conditions thermiques inconfortables ne présentent pas nécessairement un risque pour la santé ou la sécurité des travailleurs, puisque l'organisme peut s'adapter dans une certaine mesure aux fluctuations de l'ambiance.

Les principaux facteurs qui régissent les échanges de chaleur entre une personne et son environnement, et qui ont une incidence sur son confort thermique sont les suivants :

- ***Pour la personne*** : l'activité physique (production de chaleur par le corps) et son habillement.
- ***Pour l'environnement*** : La température de l'air et ses fluctuations ; Le rayonnement thermique ; L'humidité ; La vitesse de l'air ; La température des objets avec lesquels la personne est en contact.

Les conditions d'un environnement thermique acceptable sont définies dans la norme 55-1992 et son addenda 1995 de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) intitulée 'Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy'. Cette norme spécifie des conditions dans lesquelles 80 % ou plus des personnes en bonne santé trouveront une ambiance confortable.

6.1. Facteurs influant sur le confort thermique :

6.1.1. Température de l'air :

Une température idéale dépend de l'activité qu'on pratique. L'idéal est d'éviter les grands écarts de température dans le temps entre le jour et la nuit ou entre les saisons.

6.1.2. Humidité de l'air :

Le facteur d'humidité de l'air a une influence énorme sur le confort thermique interne d'une maison.

Il est souhaitable d'avoir une humidité relative entre 30 % et 70 % en hiver. En été, il est préférable que l'air soit sec.

6.1.3. Courants d'air :

En été, le courant d'air aide à favoriser la transpiration, contrairement en hiver, les courants d'air sont très pénibles, car ils facilitent les échanges thermiques entre le corps et l'air. Il est préférable en été, d'avoir des ouvertures conçues pour rafraîchir les pièces, et en hiver, la diminution des ouvertures ou les canaliser.

7. Evaluation des performances énergétiques :

Il est possible de mesurer précisément les déperditions thermiques d'une habitation. Il existe des moyens de calculer des déperditions thermiques dans un logement. Les deux plus importants sont :

7.1. Le bilan thermique :

Le bilan thermique c'est une expertise pour optimiser la performance énergétique d'une maison. C'est une étape indispensable pour obtenir le permis de construction d'un projet, il se fait avec un logiciel réglementaire qui donne une modélisation du projet.

Sur le plan énergétique ça permet de connaître les faiblesses d'une habitation et identifier les zones de déperditions de chaleur ainsi de préconiser des solutions adaptées afin d'améliorer la performance énergétique et de réaliser des économies d'énergie.

En pratique, le bilan thermique est interprété par plusieurs relevés de mesure effectués dans l'habitation qui dépendent de :

1. La situation géographique de la maison.
2. La construction de la maison et les surfaces de déperdition d'énergie
3. Le type des menuiseries.
4. L'épaisseur de l'isolation
5. L'analyse des ponts thermiques.
6. Les types de chauffage, de climatisation et de système de production d'eau.
7. La quantité d'émissions des énergies renouvelables.

8. Conclusion :

Le secteur de bâtiment représente une part importante de la consommation énergétique. Il est considéré comme étant un consommateur du premier degré des énergies et émetteur de gaz

à effet de serre. Constatant que les équipements tels que le chauffage et la climatisation consomment un taux non négligeable d'énergie.

Dans la conception des bâtiments, les éléments de structure ont des conséquences significatives sur des différentes pertes énergétiques.

La lutte progressive des sources d'énergie se fait intégralement avec les différentes méthodes classiques et modernes suivant les dernières technologies disponibles sur le marché.

Chapitre 2

Mécanisme de transfert de chaleur

1. Introduction :

Le transfert thermique est un échange d'énergie entre deux corps de températures différentes.

Il existe trois types de transfert thermique (Figure 2.1) :

- La conduction.
- La convection.
- Le rayonnement.

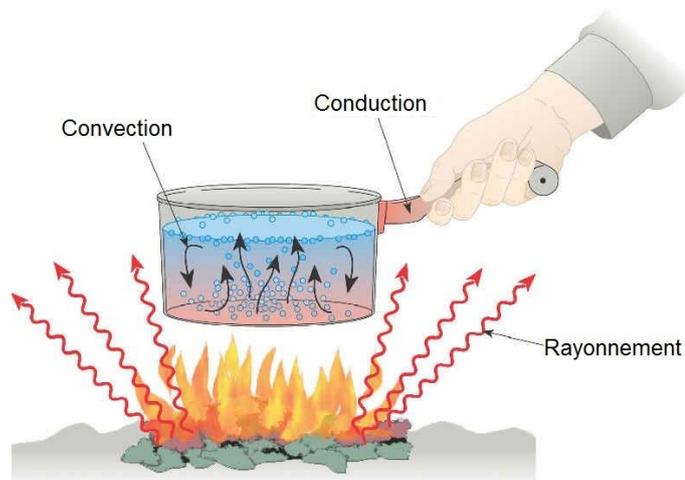


Figure 2.1 : Mécanismes de transfert de chaleur.

2. La conduction thermique (diffusion thermique):

La conduction thermique (ou diffusion thermique) est un mode de transfert d'énergie sur une échelle microscopique. Il est spécifique aux solides (bois, métaux, etc.), il se fait directement au sein d'un milieu matériel. Le transfert de l'énergie entre deux zones de températures différentes se fait par propagation de proche en proche de la chaleur.

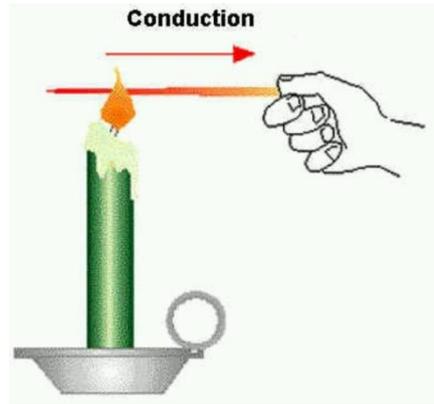


Figure 2.2 : Conduction de chaleur.

Dans les métaux, La conduction thermique est rapide sur des petites distances, mais très lente sur les grandes distances. Dans les fluides, il y a de la conduction mais elle est souvent négligeable par rapport à la convection ou au rayonnement.

Les mauvais conducteurs (gaz, laine de verre ou polystyrène) sont appelés isolants.

La conductivité thermique dépend de:

- La nature chimique du matériau.
- La nature de la phase considérée (solide, liquide, gazeuse).
- La température.
- L'orientation des fibres ou cristaux dans les corps anisotropes (bois, plastiques laminés, etc.).

2.1. Régime permanent :

Dans ce régime, la température en tout point du milieu considéré est indépendante du temps.

- *Température :*

C'est une fonction scalaire de l'espace et du temps lorsque le problème en dépend (problème instationnaire). Elle se définit en chaque point d'un corps liquide, solide ou gazeux. L'unité de température [K] ou [C].

- *Flux de chaleur :*

C'est la quantité de chaleur qui traverse une surface S par unité de temps :

$$\Phi \text{ (W)} = \frac{dQ}{dt} \quad (2.1)$$

- *Densité de flux :*

Elle représente la puissance qui traverse l'unité de surface .

Pour une surface perpendiculaire au flux de chaleur :

$$\varphi \text{ (W.m}^{-2}\text{)} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2.2)$$

2.1.1.loi de Fourier :

La loi de Fourier (1807) décrit le phénomène de conductivité thermique, c'est-à-dire la description de la diffusion de la chaleur à travers un matériau solide.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température : [2]

$$\bar{\varphi} = -\lambda S \overline{\text{grad}}(T) \quad (2.3)$$

ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.4)$$

Avec :

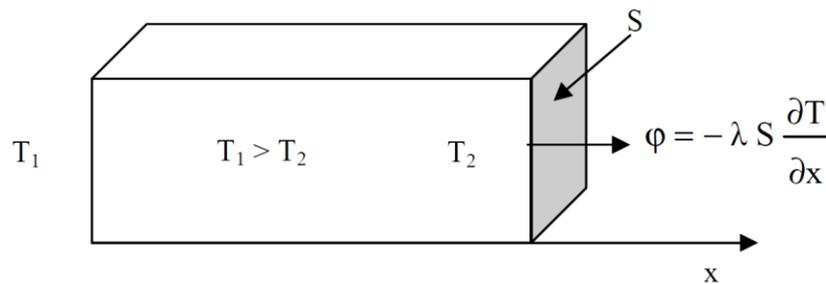


Figure 2.3 : Schéma du transfert de chaleur conductif.

2.1.2. Conductivité thermique de quelques matériaux courants :

Tableau 2.1. Conductivité thermique de quelques matériaux.

Matériaux	λ (W.m ⁻¹ K ⁻¹)	Matériaux	λ (W.m-1 K-1)
<u>Isolants plastiques</u>		<u>Isolants divers</u>	
• Polystyrène expansé	0,046	• Verre cellulaire	0,050

Qualité 1	0,043		• Panneau de fibre de bois	0,060 à 0,067
Qualité 2	0,040			0,060
Qualité 3	0,038		• Panneau de petite expansé + cellulose	
Qualité 4 et 5	0,037	à		
Autre fabrication	0,043			
• Polystyrène extrudé	0,031	à	<u>Les matériaux de structure</u>	3,00
• Mousse rigide en PVC	0,036		• Granit et pierre lourde	1,40
Qualité 2	0,031		• Pierre calcaire	230
Qualité 3	0,031		• Verre	110
• Mousse rigide polyuréthane	0,050		• Acier	36
	0,065		• Aluminium	
<u>Isolants en laine minérale manufacturée</u>			<u>Les matériaux de parement</u>	1,15
• Laine de verre			• Enduit ciment	0,50
Classe VA			• Plâtre	
Classe VB	0,034	à	• Panneau de particules de bois	0,14
Classe VC	0,047			
Classe VD	0,035	à	• Panneau de contreplaqué ou latté	0,12
Classe VE	0,051			
• Laisse de roche	0,036	à		
Classe RA	0,056			
Classe RB	0,043	à		
• Autres laines minérales	0,054			
	0,037	à		
	0,039			
	0,038	à		
	0,047			
	0,039	à		
	0,041			
	0,065			

2.2. Analogie électrique :

Tableau 2.2 : Analogie électrique. [3]

Transfert thermique	Conduction électrique
<ul style="list-style-type: none"> • Loi de Fourier : $\Delta T = -(L/\lambda S).P$ • Conductivité thermique $\lambda(T)$ • Température T • Puissance thermique P 	<ul style="list-style-type: none"> • Loi d'Ohm $\Delta V = R.I$ • Conductivité électrique $\sigma(T)$ • Potentiel électrique V • Intensité de courant I

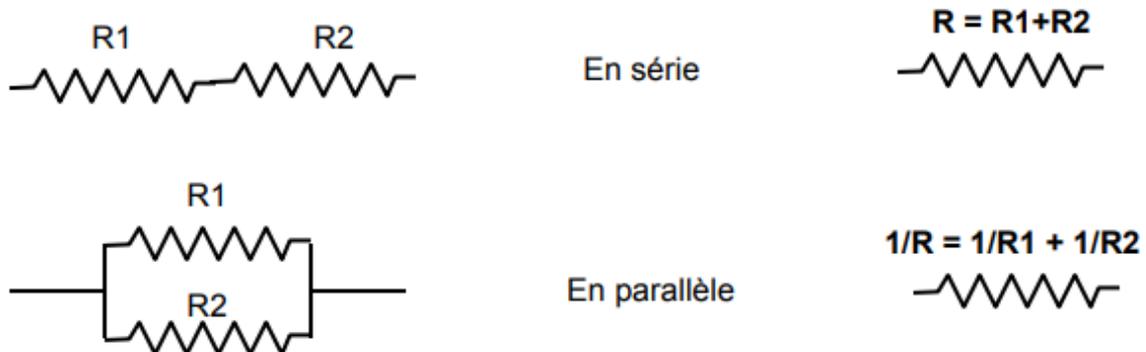
2.2.1 Résistance thermique :

La résistance thermique représente la résistance du milieu soumis à une variation de température donnée, à laisser se propager un flux de chaleur.

Le flux de chaleur joue le rôle du courant électrique, la différence de température joue le rôle de la différence de potentiel qui donne naissance au courant électrique.

Plus la résistance est grande et donc plus le flux est petit.

Pour déterminer une résistance thermique totale, comme en électrique, on sait que : [4]



2.2.2 Résistance de contact thermique :

Par définition, la "résistance de contact" relie le "saut" de température à la densité de flux thermique qui traverse le contact :

$$R_{\text{contact}} = \frac{\Delta T}{q} \quad (2.5)$$

La résistance de contact dépend de nombreux paramètres (nature du fluide, des matériaux, porosité, rugosité, pression de contact....), son évaluation théorique est impossible.

Les ordres de grandeur pratiques sont de 10^{-3} à $10^{-6} \text{ Km}^{-2} \text{ W}^{-1}$. On négligera la résistance de contact lorsque un des deux solides est un mauvais conducteur de la chaleur. On dit qu'il y a contact parfait, et les deux températures sont égales. En revanche lorsque les matériaux sont de bons conducteurs thermiques la résistance de contact peut fortement modifier la résistance totale.

3. La convection thermique :

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et de mouvement de milieu, elle est considérée comme le mécanisme le plus important de transport de l'énergie entre une surface solide et un liquide ou gaz.

Le transport d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température est l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules et transférer une partie de leur énergie. Dans ce cas l'écoulement transporte simultanément, le fluide et l'énergie. L'énergie est à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement.

On peut donc définir la convection comme la réunion de deux modes de transfert de chaleur : la conduction qui s'effectue à l'échelle microscopique et l'advection qui est de nature macroscopique. [5]

Selon le mécanisme qui génère le mouvement du fluide, on distingue :

3.1. Convection naturelle (libre) :

La convection naturelle est due au contact du fluide avec une paroi plus chaude ou plus froide ,La convection naturelle dans laquelle le fluide est mis en mouvement sous le seul effet des différences de masses volumiques résultant des différences de températures sur les frontières ,cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules fluide.. On retrouve dans plusieurs applications industrielles ce

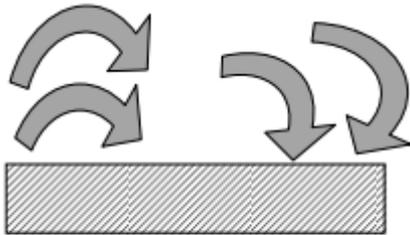
mode de transfert de chaleur. Par exemple, dans les échangeurs de chaleur où deux fluides en mouvement, séparés par une paroi solide s'échange de l'énergie.

3.2. Convection forcée :

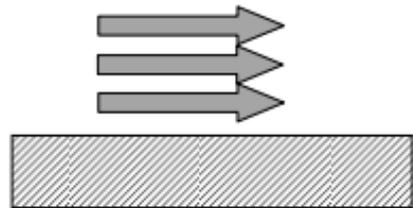
La convection forcée dans laquelle le mouvement du fluide est imposé par une intervention extérieure indépendante des différences de température, La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative.

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement, on distingue :

- Ecoulement en régime turbulent

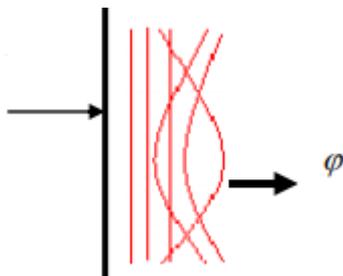


- Ecoulement en régime laminaire



3.2.1. Expression du flux de chaleur en convection (Loi de Newton) :

Au voisinage d'un solide de température de surface T_s , un fluide en mouvement à la température T_f , reçoit une densité de courant thermique. [6]



$$\phi = h.s.(T_s - T_f) \quad (2.6)$$

$T_s - T_f$: différence de température entre le corps et le fluide, °C

Le coefficient h dépend de plusieurs paramètres et l'échange de chaleur est d'autant plus actif (h plus grand) lorsque :

- La différence de température entre la paroi et le fluide.
- La vitesse du fluide.
- La capacité thermique massique du fluide.
- La surface d'échange.
- L'état de surface du solide.
- Sa dimension, etc.

Ordre de grandeur du coefficient h pour différentes configurations : [7]

Tableau 2.3 : coefficient h pour différentes configurations.

Configuration	h (W.m ⁻² °C ⁻¹)
<u>Convection naturelle :</u>	
Plaque vertical de hauteur 0,3m dans l'air.	4,5
Cylindre horizontal de diamètres 5cm dans l'air.	6,5
Cylindre horizontal de diamètres 5cm dans l'eau.	890
<u>Convection forcée :</u>	
Courant d'air à 2m/s sur plaque carrée de 2m de coté.	12
Courant d'air à 35m/s sur plaque carrée de 0,75m de coté	75
Eau à 0,5 kg/s dans un tube de diamètre 2,5cm.	3500
Courant d'air à 50m/s perpendiculaire/ tube de 5cm de diamètre .	180
<u>Ebullition de l'eau :</u>	
Dans un récipient .	2500 - 35000
En écoulement dans un tube.	5000 - 10000
Convection libre (air)	5 – 25
Convection libre (eau)	100 – 900
Convection forcée (air)	10 – 500
Convection forcée (eau)	100 – 15000
Convection forcée (huile)	50 – 2000

Convection forcée (métaux fondus)	6000 – 120000
Convection forcée (eau bouillante)	2500- 25000

4. Rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation : [8]

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (2.7)$$

Avec :

σ	Constante de Stefan	$(5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4})$
ε_p	Facteur d'émission de la surface	
T_p	Température de la surface	(K)
T_∞	Température du milieu environnant la surface	(K)

4.1. Caractéristiques du rayonnement thermique :

4.1.1. Emission :

Tout corps dont la température est supérieure au 0° Kelvin convertit son énergie en rayonnement électromagnétique issu de l'agitation thermique des molécules.

Une unité de surface d'un corps transmet durant une unité de temps une quantité d'énergie appelée flux d'émission. F_{emi}

4.1.2. Absorption :

Tous les corps absorbent une certaine partie du rayonnement qui modifie l'énergie interne du corps, lorsque une surface reçoit un flux d'énergie, la fraction transformé est appelé flux absorbé F_{abs}

4.1.3. Réflexion et diffusion :

Un rayon lumineux qui frappe une surface métallique bien polie, change de direction et prend une direction symétrique.

Si un rayon lumineux se réfléchit sur une surface non polie, le rayon incident repart dans toutes les directions. On dit qu'il est diffusé.

4.1.4. Transparence et opacité :

Un milieu transparent est un milieu qui permet le passage de rayons lumineux, par contre , le milieu opaque ne permet pas le passage des rayons lumineux .

Relations entre le flux lumineux.

5. Equation de conservation de la chaleur :

5.1. Forme générale de l'équation :

La loi fondamentale qui régit tous les transferts de chaleur est communément appelée "principe de conservation de l'énergie". Pour un fluide, l'équation est la suivante :

$$(c_p\rho + c_{p,l}W) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda\nabla T) + I_{IV}\nabla(\delta_p\nabla p_V) - v_{IV}\nabla\rho_V - v_{IV}\nabla p_V - v_{\rho\alpha}c_{p,\alpha} \cdot \nabla T + Q_h \quad (2.8)$$

I_{IV} : enthalpie d'évaporation (J/kg)

δ_p : perméabilité de la vapeur d'eau (kg / m.s.pa)

λ : conductivité thermique (W/m.k)

T : température (C)

t : temps (s)

W : teneur en humidité (kg / m³)

V : vitesse de l'air (m/s)

ρ : densité sèche du matériau (kg/m³)

ρ_α : densité de l'air (kg/m³)

ρ_v : densité de la vapeur d'eau (kg/m³)

c_p : chaleur spécifique du matériau (J/kgK)

$c_{p,l}$: chaleur spécifique de l'eau liquide (J/kgK)

$c_{p,\alpha}$: chaleur spécifique de l'air sec (J/kgK)

Q_h : source de chaleur (W/m³)

Supposant que la masse est toujours conservé , alors la densité et la vitesse doivent être liée par :

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (2.9)$$

Les interfaces de transfert de chaleur utilisent la loi de Fourier de conduction de la chaleur, qui stipule que le flux de chaleur par conduction est proportionnel au gradient de température

$$q_i = \lambda_i \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (2.10)$$

Le flux de chaleur par conduction est donné par :

$$q_i = \sum - \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (2.11)$$

Insertion de l'équation dans l'équation, réorganiser les termes en ignorant le chauffage visqueux et le travail de pression fait l'équation suivante :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial T} + \rho c_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q \quad (2.12)$$

L'interface de transfert de chaleur avec le transfert de chaleur en fonction du fluide résout cette équation pour la température, T.

Si la vitesse est réglée sur zéro, on obtient l'équation régissant le transfert de chaleur par conduction pure :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial T} + \nabla \cdot (-\lambda \nabla T) = Q \quad (2.13)$$

6. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons abordé les différents mécanismes qui régissent le transfert de chaleur dans les corps solides, à savoir, la conduction, la convection et le rayonnement.

Les équations inhérentes à chacun des mécanismes ont été présentées et discutées.

Chapitre 3

Les normes appliquées aux fenêtres

1. Le marquage CE :

Le marquage CE est obligatoire sur toutes les fenêtres vendues dans la Communauté Européenne obligatoire depuis le 1er février 2010. Respecter la norme NF EN 14351-1 est impératif pour obtenir le marquage CE qui implique également que les fenêtres répondent à certains niveaux de performance liés à : [9]

- Etanchéité à l'eau.
- Etanchéité à l'air.
- Isolation acoustique et thermique.

et réponds aux exigences essentielles de :

- Sécurité pour les personnes, les biens, les animaux, et parfois aussi à des exigences environnementales.

1.1. Les caractéristiques :

1. Résistance mécanique et stabilité.
2. Sécurité en cas d'incendie.
3. Santé et environnement.
4. Sécurité d'utilisation et accessibilité.
5. Protection contre le bruit
6. Economie d'énergie et isolation thermique.
7. Utilisation durable des ressources naturelles.

1.2. Les procédures d'évaluation de la conformité des produits :

Il existe des différentes procédures, appelées ' modules de base ' :

Tableau 3.1 : l'évaluation des produit.

Module A	contrôle interne de la production
Module B	examen « CE de type »
Module C	conformité au type
Module D	assurance de la qualité production

Module E	assurance de la qualité des produits
Module F	vérification sur produits
Module G	vérification à l'unité
Module H	assurance de la qualité complète

2. Norme NF :

La marque NF est la première marque de certification de qualité volontaire (pas obligatoire) en France et aussi l'une des plus exigeantes d'Europe ,cette marque collective de certification existe depuis 1938 ,elle garantit que les exigences suivantes : [10]

- La qualité.
- Sécurité.
- Fiabilité.
- Aptitude

La marque NF implique systématiquement l'intervention d'AFNOR Certification, organisme certificateur indépendant et impartial qui vérifie la conformation du produit à certifier et effectue à périodicité définie des contrôles sur le produit et sur l'efficacité de l'organisation qualité de l'entreprise.

2.1. Caractéristiques :

- Perméabilité à l'air.
- Étanchéité à l'eau.
- Résistance au vent.
- Affaiblissement acoustique.
- Isolation thermique.
- Essais mécaniques spécifiques.
- Effort de manœuvre.
- Endurance ouverture fermeture.

3. Certification CEKAL :

La certification Cekal est délivrée par l'organisme du même nom, créée en 1989,elle atteste de la qualité de fabrication des produits au niveau de la fabrication et garantit les performances attestées pendant 10 ans sur tout vitrage installé sur une menuiserie, fenêtre double vitrage, triple vitrage, fenêtre bois ou PVC, baie vitrée coulissante,... [11]

3.1. Les type de vitrages concernés :

3.1.1 Le vitrage isolants :

Le vitrage isolant est constitué de 2 ou 3 verres qui sont séparés par un isolant contenant de l'air ou un gaz.

3.1.2 Le vitrage feuilleté :

Le vitrage feuilleté est constitué de 2 à plusieurs verres assemblés entre eux.

Le vitrage trempé :

Ce type de verre est obtenu grâce à un traitement thermique à haute température suivi d'un refroidissement brutal.

3.2. Performance thermique :

Tableau 3.2 : Les classes thermiques selon les performances .

TR	TR1	T R2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7	TR 8	TR 9	TR1 0	TR1 1	TR1 2	TR1 3	TR1 4
U_g (W/m².k)	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

TR : les classes thermiques renforcées, un indicateur noté de TR1 à TR14 : plus il sera élevé, plus l'isolation renforcée sera performante.

Un vitrage isolant est dit TR si son coefficient d'isolation thermique $U_g \leq 2 \text{ W/m}^2.\text{K}$

- Les vitrages à "Isolation thermique Courante" ($U_g > 2 \text{ W/m}^2.\text{K}$).
- Les vitrages à "Isolation thermique renforcée" ($U_g \leq 2 \text{ W/m}^2.\text{K}$).

U_g : coefficient de transmission thermique.

3.2.1 Le coefficient de transmission thermique U_g :

La performance thermique U_g d'un vitrage isolant est en fonction de :

- l'émissivité de la couche utilisée.
- la dimension de l'espace entre les verres.
- la présence de gaz.

Cette performance thermique s'exprime sous la forme de la valeur U_g , qui contribue de façon importante à la performance thermique (U_w) de la fenêtre.

3.3. Performance acoustique :

3.3.1 L'indice d'affaiblissement acoustique :

L'indice d'affaiblissement acoustique AR, qui mesure la capacité d'isolement aux bruits aériens d'origine routière (bruits de trafic).

3.3.2 Classes de performances acoustiques :

Elles sont données dans le tableau suivant :

Tableau 3.3 : Les classes acoustiques selon les performances .

Indice	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5	AR6
R (dB)	25	28	30	33	35	37
signification	Isolation courante	Isolation renforcée				

Classe AR : indice d'affaiblissement acoustique face à un bruit routier.

3.4. Performance de sécurité :

3.4.1. Vitrage feuilleté :

Tableau 3.4 : Les essais appliqués.

Type de risques	Essai de choc pendulaire du double pneu EN 12600	Essai de chutes de billes en acier EN 356
Blessures	2B2	
Chutes et blessures	1B1	
Vandalisme, chutes et blessures	1B1	P1A
Vandalisme, chutes et blessures	1B1	P2A
Vandalisme, chutes et blessures	1B1	P3A
Vandalisme, chutes et blessures	1B1	P4A
Vandalisme, chutes et blessures	1B1	P5A

3.5. Durabilité :

Les vitrages isolants : CEKAL certifie l'assemblage qui doit résister à l'humidité et aux UV.

Les vitrages feuilletés: CEKAL certifie l'assemblage, avec intercalaires PVB, qui doit résister à l'humidité et aux UV.

Les vitrages trempés: CEKAL certifie la qualité de la trempe thermique des verres plans (fragmentation, contraintes de surfaces...). [12]

3.6. La perméabilité à l'air :

En tant que menuiserie efficace, la fenêtrerie ne doit pas laisser rentrer l'air dans l'habitation, donc elle se doit d'être perméable à l'air, afin d'assurer une isolation optimale

Les essais de perméabilité à l'air doivent être réalisés en pression positive et négative ; le résultat devant être exprimé comme la moyenne numérique des deux valeurs à chaque palier.

3.6.1 Valeurs limites pour un classement basé sur la surface totale :

Pour chaque pression, la mesure de la perméabilité à l'air moyenne mesurée par rapport à la surface totale du corps d'épreuve (en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) ne doit pas dépasser :

Tableau 3.5: Les résultats de mesures de perméabilité basée sur la surface totale.

Pression	A*1	A*2	A*3	A*4
50	31,50	17,01	5,67	1,89
100	50,00	27,00	9,00	3,00
150	65,52	35,38	11,79	3,93
200		42,86	14,29	4,76
250		49,73	16,58	5,53
300		56,16	18,72	6,24
450			24,53	8,18
600			29,72	9,91

3.6.2. Valeurs limites pour un classement basé sur la longueur de joint ouvrant :

Pour chaque pression, la mesure de la perméabilité à l'air moyenne mesurée par rapport à la longueur du corps d'épreuve (en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) ne doit pas dépasser :

Tableau 3.6: Les résultats de mesures de perméabilité basé sur la longueur de joint ouvrant.

pression	A*1	A*2	A*3	A*4
50	7,87	4,25	1,42	0,47
100	12,50	6,75	2,25	0,75
150	16,38	8,85	2,95	0,98
200		10,71	3,57	1,19
250		12,43	4,14	1,38
300		14,04	4,68	1,56
450			6,13	2,04
600			7,43	2,48

3.6.3. Résultat final :

Le classement final de la perméabilité à l'air est exprimé comme suit :

Si un corps d'épreuve est classé selon sa surface totale et selon la longueur de son joint ouvrant en donnant :

- *La même classe* : le corps d'épreuve doit être classé dans une seule et même classe .
- *Deux classes adjacentes* : le corps d'épreuve doit être classé dans la classe la plus favorable (avec le débit le plus faible) .
- *Une différence de deux classes* : le corps d'épreuve doit être classé dans la classe moyenne.
- *Une différence de plus de deux classes* : le corps d'épreuve ne doit pas être classé.

Tableau 3.7 : Les résultats de mesures de perméabilité basé sur la longueur de joint ouvrant.

Classement obtenu selon la surface	Classement obtenue selon la longueur de joint ouvrant				
	A*4	A*3	A*2	A*1	A*0
A*4	A*4	A*4	A*2	A*1	A*0
A*3	A*4	A*3	A*3	A*2	A*0
A*2	A*3	A*3	A*2	A*2	A*1
A*1	A*0	A*2	A*2	A*1	A*1
A*0	A*0	A*0	A*1	A*1	A*0

3.7. L'étanchéité à l'eau :

L'étanchéité à l'eau (pluie, intempéries) si la fenêtre est sensée être installée sous une avancée de toit seule la partie inférieure de la fenêtre a donc été testée , donc la note est suivie de la lettre B.

Dans une région ou la pluie et l'humidité sont fréquentes, veuillez à avoir un haut coefficient pour les fenêtres.

Déterminant la limite d'étanchéité à l'eau de la fenêtre suivant un essai de pression PE maximale et une exposition partielle (méthode d'essai B) ou une exposition totale (méthode d'essai A). sous lesquelles la fenêtre reste étanche pour un débit d'eau de 1 l/min.m². En fonction des résultats obtenus, les classements sont:

Tableau 3.8 : Les résultats de mesures d'étanchéité à l'eau.

Pression (pa)	Temps (min)	Méthode A	Méthode B
0	15	1A	1B

50	5	2A	2B
100	5	3A	3B
150	5	4A	4B
200	5	5A	5B
250	5	6A	6B
300	5	7A	7B
450	5	8A	
600	5	9A	
> 600	5	E xxx	

4. CSTBbat :

Développé par le CSTB (centre scientifique technique du bâtiment), le label CSTBat est l'assurance d'avoir des produits qui garantissent les performances thermiques et acoustiques des fenêtres. Le label CSTBat est une certification de performances définies par une valeur ou un classement et d'un procédé attaché à un avis technique.

Les fenêtres et menuiseries qui bénéficient du marquage CSTBat offrent une performance optimale selon trois critères (AEV) :

- La perméabilité à l'air (A),
- L'étanchéité à l'eau (E)
- La résistance au vent (V).

Elles font l'objet d'une garantie de 10 ans.

4.1. Le certificat ACOTHERM :

C'est une certification thermique et phonique des fenêtres délivrée par le CSTB. Elle concerne le vitrage, la menuiserie (fenêtre, porte-fenêtre), mais aussi les blocs-baies (fermetures des volets roulants par exemple), et les portes extérieures. et permet de classer les menuiseries selon leurs performances thermiques et acoustiques.

Le classement se fait selon les performances thermique et acoustique :

4.1.1. Performance thermique AC :

Tableau 3.9 : Classement acoustique selon l'indice d'affaiblissement.

Classe	Indice d'affaiblissement acoustique R route vis-à-vis d'un bruit de trafic routier
AC1	28 dB
AC2	33 dB

AC3	36 dB
AC4	40 dB

4.1.2 Performance thermique TH :

Tableau 3.10 : Classement thermique selon l'indice thermique.

Classe TH	U (w/(m ² .k))
TH6	$2,6 \geq U > 2,2$
TH7	$2,2 \geq U > 2,0$
TH8	$2,0 \geq U > 1,8$
TH9	$1,8 \geq U > 1,6$
TH10	$1,6 \geq U > 1,4$
TH11	$1,4 \geq U > 1,3$

U (W/(m².K)) : coefficient de transmission thermique surfacique

Plus le niveau « Th » est élevé, plus l'isolation sera meilleure en terme de performance. Seules les fenêtres classées entre Th6 et Th11 seront certifiées Acotherm.

5. Label QUALICOAT :

Le label Qualicoat s'applique sur les produits (fenêtres) en aluminium thermolaqué. Le thermolaquage comprend une préparation de surface, une conversion chimique, l'application de la laque et la cuisson au four. C'est un label qui garantit une qualité maximum pour le thermolaquage des produits en aluminium.

5.1. Les caractéristiques contrôlées :

- l'épaisseur de la couche de laque.
- La résistance au brouillard salin.
- La résistance aux UV et à une exposition extérieure (teinte et brillance).
- La résistance à la fissuration.
- La résistance aux chocs.
- L'adhérence.
- La brillance.

6. Label QUALIMARINE :

Le label Qualimarine concerne le traitement chimique appliqué sur la surface des profilés des fenêtres en aluminium avant le thermolaquage pour accroître la résistance des produits d'une installation en bord de mer. Le label Qualimarine qui accompagne le label

Qualicoat repose sur une préparation de surface renforcée, comprenant une double attaque chimique du métal, alcaline puis acide, qui élimine la couche d'alumine qui protège le métal du portail aluminium. [13]

6.1. Les caractéristiques contrôlées :

- Les alliages de l'aluminium traité.
- L'épaisseur de la couche de conversion.
- La qualité des bains actifs et des rinçages.
- La qualité du dérochage par mesure du taux d'attaque.
- L'épaisseur du revêtement.
- L'adhérence et la résistance mécanique du revêtement.
- La résistance au brouillard salin acétique du produit laqué.
- La qualité de la résistance à la corrosion.
- La résistance aux UV et à une exposition extérieure (teinte et brillance).

7. Label QUALIDECO :

Un label géré par ADAL (association pour le développement de l'aluminium anodisé ou laqué) encadre les techniques de thermolaquage, il garantit sa résistance avec des effets décoratifs et sa tenue aux rayons UV. Ici il s'agit des produits réalisés en ton bois.

7.1. Les techniques utilisées :

- Un surlaquage de motif (poudre en poudre).
- Un transfert par sublimation.

7.2. Les spécifications techniques :

- La couche de base doit être appliquée selon la directive Qualicoat avec une peinture spéciale.
- la décoration doit être agréée et doit répondre en tous points aux tests de QUALIDECO.

8. Label QUALANOD :

C'est une certification qui concerne les menuiseries en Aluminium anodisé et atteste du bon traitement des processus de fabrication. L'anodisation consiste à créer une couche uniforme très résistante d'oxyde d'aluminium.

8.1. Les caractéristiques contrôlées :

- L'épaisseur de la couche anodique.
- La qualité du colmatage.
- L'aspect de surface et la couleur.
- La résistance à l'usure/à l'abrasion.
- La solidité de la couche.
- La résistance à la corrosion.

9. L'industrie des fenêtres en Algérie

9.1. Présentation :

Parmi les nombreuses entreprises implantées en Algérie, une entreprise française qui existe depuis 1923 s'est particulièrement distinguée sur le marché algérien de production des fenêtres et baies coulissantes. C'est en effet l'une des premières entreprises industrielles françaises à produire des menuiseries en PVC. Depuis cette date, l'entreprise a commercialisé plus de 3,5 millions de fenêtres PVC et équipé près de 800 000 logements en France.

L'entreprise est présente sur le marché Algérien depuis 2014. elle est active dans le domaine de l'extrusion du profilé PVC et l'assemblage des fenêtres et portes fenêtres en PVC à hautes performances thermiques.

9.2. Les gammes des fenêtres :

9.2.1. PVC :

a) La gamme POP :

Technique

Profilé 3 chambre pour les ouvrants et dormant de 60 mm

Renforts des profilés en acier galvanisé selon les normes (CSTB)

Ouverture française / oscillo-battante

Performance

Performance thermique : $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Performance acoustique : $R = 30 \text{ dB}$

Double vitrage : 4MS/16AR/4FC



Figure 3.1 : Coupe transversale du profilé
à 3 chambres.



Figure 3.2 : Fenêtre.

b) La gamme *MEDITERANIA* :

Technique

Profilé 5 chambres pour les ouvrants et dormant de 70mm d'épaisseur

Renfort des profilés en acier galvanisé selon les normes (CSTB)

Ouverture à la française /oscillo-battante

Performance

Performance thermique : $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Performance acoustique : $R = 30\text{dB}$

Performance acoustique : $R = 35\text{dB}$

Double vitrage : 4MS/16ARG/4FC

Triple vitrage : 4MS/10ARG/4FC/10ARG/4FC

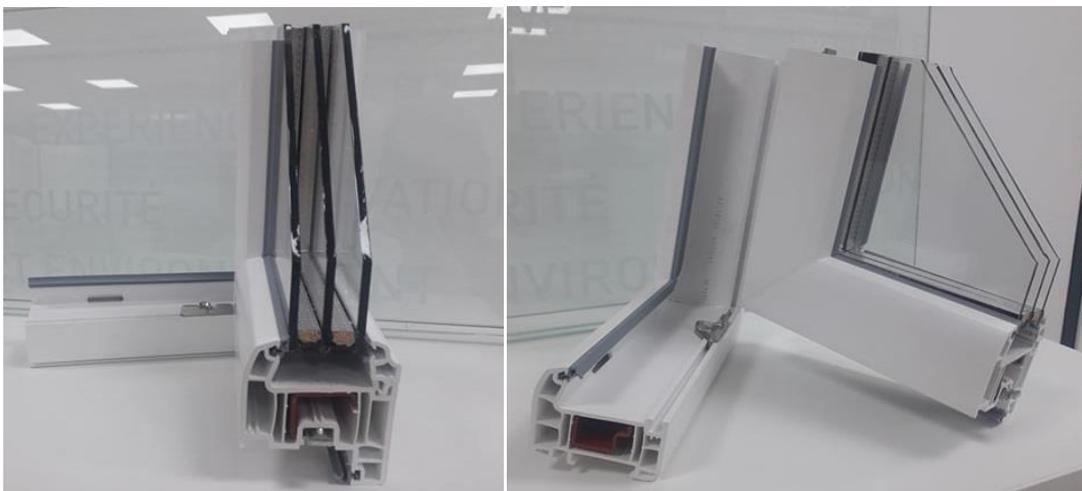


Figure 3.3 : Coupe transversale du profilé à 5 chambres

c) La gamme FUTURA :

Technique

Profilé 5 chambres pour les ouvrants et dormant de 70mm d'épaisseur.

Renforcement à 100% des profilés par des raidisseurs en acier galvanisé.

Ouverture à la française / oscillo-battante

Performance

Performance thermique : $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Performance acoustique : $R = 30\text{dB}$ (double vitrage)

Double vitrage : 4MS/16ARG/4FC

Esthétique

Plaxage 2 faces intérieur et extérieur chêne dorée avec joint couleur marron

Plaxage 2 faces intérieur et extérieur gris anthracite avec joint gris clair

9.2.2. Aluminium :

Technique

Profilé 3 chambres pour les ouvrants et dormant de 60mm d'épaisseur

Renfort des profilés en acier galvanisé selon les normes (CSTB)

Ouverture à la française

Performance

Performance thermique : $U_w = 1,9 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Performance acoustique : $R = 30\text{dB}$

Double vitrage : 4MS/16ARG/4FC



Figure 3.4 : Coupe transversale d'un profilé aluminium.

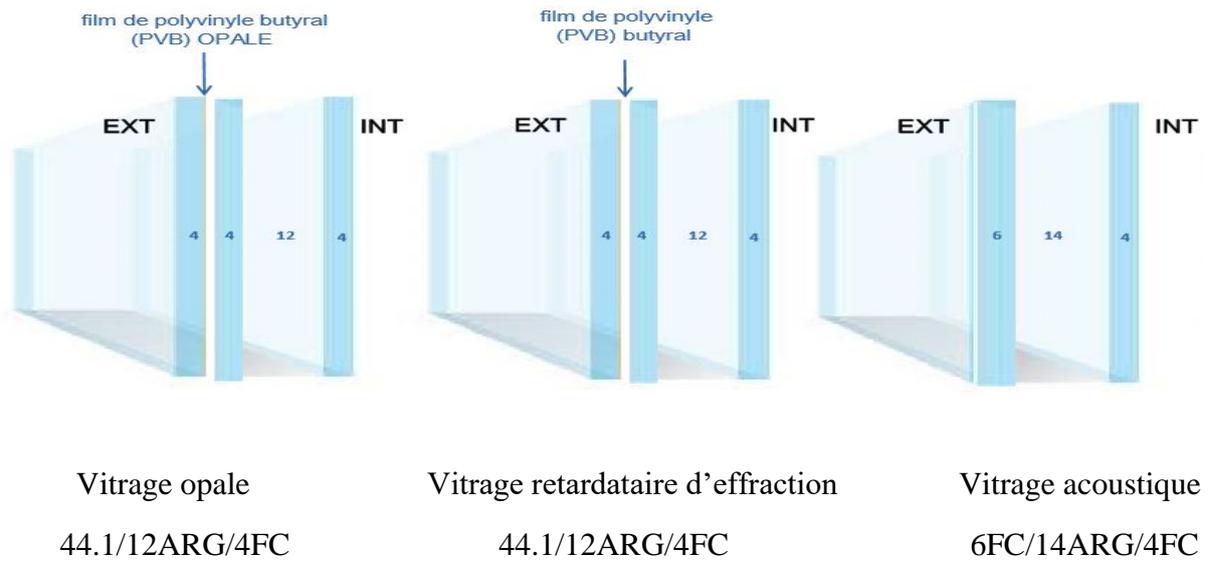


Figure 3.5 : Une gamme complète de vitrages.

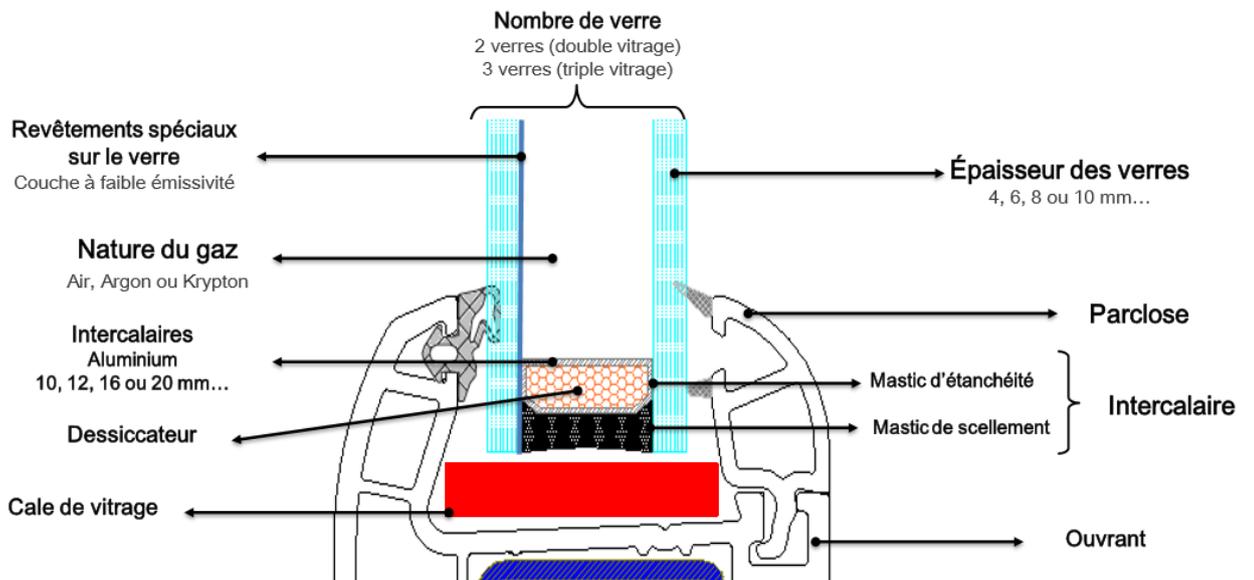


Figure 3.6 : Composantes d'un vitrage isolant.

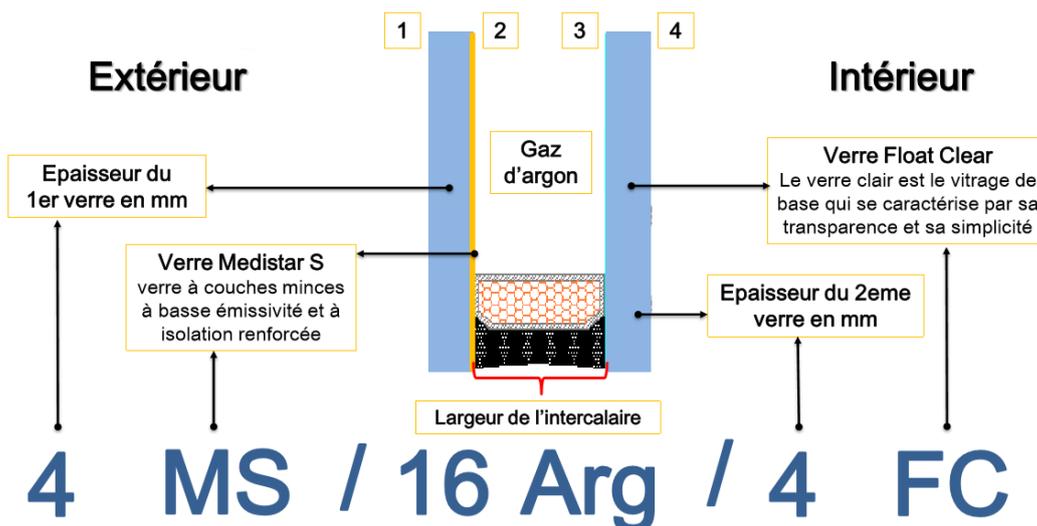


Figure 3.7 : Démonstration du vitrage.

Tableau 3.11: Limites dimensionnelles.

Plages d'utilisation systémiques des lames tablier pour les rideaux (dimensions en mm)			
Type de manœuvre	PVC 42	PVC 37	ALU 43
Sangle et treuil	620≤largeur≤1400 Et 600≤hauteur≤2320	620≤largeur≤1300 Et 2320≤hauteur≤2500	1300≤largeur≤2400 Et 2320≤hauteur≤2500
Moteur filaire	680≤largeur≤1400 Et 600≤hauteur≤2200	680≤largeur≤1300 Et 2200≤hauteur≤2500	1300≤largeur≤2400 Et 2200≤hauteur≤2500
Moteur radio	780≤largeur≤1400 Et 600≤hauteur≤2200	780≤largeur≤1300 Et 2200≤hauteur≤2500	

Chapitre 4

Simulation numérique des performances thermiques des fenêtres

1. Introduction :

Lors de la conception d'un bâtiment, les problèmes environnementaux ont acquis une influence considérable sur l'ensemble du projet. L'une des premières préoccupations étant d'améliorer les performances thermiques. Dans ce contexte, les logiciels de simulation fournissent des outils clés pour la modélisation des pertes thermiques et des performances dans le bâtiment.

La norme internationale ISO 10077-2: 2012 [14] traite des performances thermiques des fenêtres, des portes et des volets. Elle fournit des valeurs calculées des caractéristiques thermiques des profils de trame afin de valider un logiciel de simulation.

Dans ce chapitre le logiciel COMSOL Multiphysics est utilisé pour valider une partie du benchmark décrit dans la norme ISO 10077-2: 2012. Ce document décrit six profils de trame relatifs uniquement aux fenêtres.

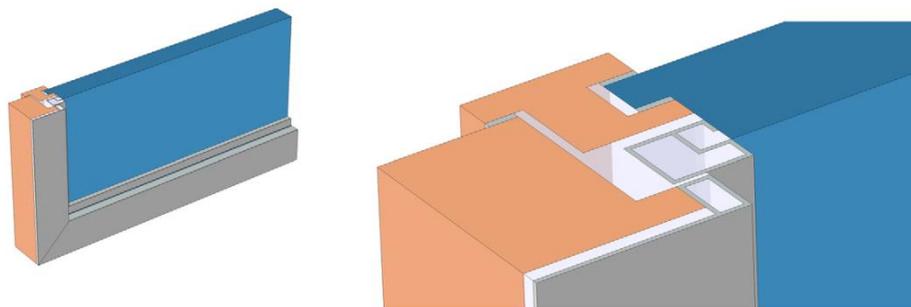


Figure 4.1 : Géométrie d'une des fenêtres et vue en coupe.

2. Définition du modèle :

Pour chaque cas de test, une section de fenêtre sépare un côté interne chaud d'un côté externe froid. Dans ces applications, le vitrage traditionnel est remplacé par un panneau

isolant. Après calcul de chaque modèle, deux quantités sont calculées et comparées aux valeurs normatives du benchmark à savoir :

- La conductance thermique entre les côtés interne et externe
- la transmittance thermique du cadre de la fenêtre

2.1 Cavités d'air :

Un cadre de fenêtre contient de nombreuses cavités. Le but est d'assurer l'isolation thermique. Selon la norme, les cavités sont modélisées de différentes manières en fonction de leurs formes.

Le débit de chaleur dans les cavités est représenté par une conductivité thermique équivalente k_{eq} , qui comprend le flux de chaleur par conduction, convection et rayonnement. Cela dépend également de la géométrie de la cavité et des matériaux adjacents. La définition de k_{eq} est détaillée plus bas.

Les cavités sont divisées en trois types:

- cavités non ventilées, complètement fermées ou connectées à l'extérieur ou à l'intérieur par une fente d'une largeur n'excédant pas 2 mm;
- cavités légèrement ventilées, reliées à l'extérieur ou à l'intérieur par une fente supérieure à 2 mm mais n'excédant pas 10 mm;
- des cavités bien ventilées, correspondant à une configuration non couverte par l'un des deux types précédents, on suppose que toute la surface est exposée à l'environnement de sorte à ce que les conditions aux limites soient appliquées (voir la section Conditions aux limites ci-dessous).

2.1.1 Cavité rectangulaire non ventilée :

Pour une cavité rectangulaire non ventilée, la conductivité thermique équivalente est

$$k_{eq} = \frac{d}{R} \quad (4.1)$$

où d est la dimension de la cavité dans le sens du flux de chaleur, et R la résistance thermique de la cavité donnée par:

$$R = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (4.2)$$

où h_a est coefficient de transfert convectif de chaleur, et h_r est le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement. Ces coefficients sont définis par:

$$h_a = \begin{cases} \frac{C_1}{d} & \text{si } b \leq 5 \text{ mm} \\ \max\left(\frac{C_1}{d}, C_2 \Delta T^{1/3}\right) & \text{autrement} \end{cases}$$

$$h_r = 4\sigma T_m^3 EF \quad (4.3)$$

où

$$C_1 = 0.025 \text{ W/(m.K)}$$

$$C_2 = 0.73 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^{4/3})$$

ΔT est la différence maximale de température dans la cavité.

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$ est la constante de Stefan-Boltzmann

T_m est la température moyenne aux limites de la cavité

E est l'émissance interfaciale, définie par:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (4.4)$$

ε_1 et ε_2 sont les émissivités surfaciques (toutes les deux égales à 0.90 dans ce modèle)

F est le facteur de vue de la section rectangulaire, défini par:

$$F = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{b} + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} \right) \quad (4.5)$$

d est la dimension de la cavité dans la direction du flux de chaleur

b est la dimension de la cavité perpendiculairement à la direction du flux de chaleur

2.1.2 Cavités rectangulaires légèrement ventilées :

Pour une cavité légèrement ventilée, la conductivité thermique équivalente est le double de celle d'une cavité non ventilée de la même taille.

2.1.3 Cavités non rectangulaires :

Les cavités non rectangulaires sont transformées en cavités rectangulaires de même surface et de même rapport d'aspect conformément aux règles définies dans ISO 10077-2: 2012 présentée ci-dessous. k_{eq} est ensuite évalué suivant l'un des deux cas rectangulaires précédents.

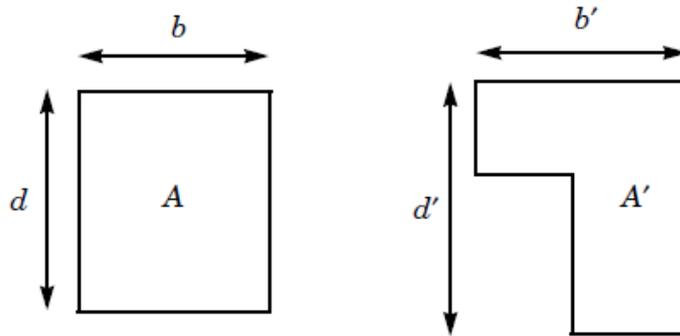


Figure 4.2 : Transformation de cavité non rectangulaire.

La figure 2 montre une cavité non rectangulaire de surface A' .

d' et b' sont la profondeur et la largeur (en fonction de la direction du flux de chaleur) du plus petit rectangle pouvant contenir la cavité non rectangulaire. La cavité rectangulaire équivalente, de taille $b \times d$ et de surface A , doit satisfaire:

$$A = A' \quad \frac{d}{b} = \frac{d'}{b'} \quad (4.6)$$

Donc, b et d sont données par:

$$b = \sqrt{A' \frac{b'}{d'}} \quad d = \sqrt{A' \frac{d'}{b'}} \quad (4.7)$$

3. Conditions aux limites :

Les conditions de flux de chaleur pour les côtés internes et externes sont données par la loi de Newton suivante:

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_{ext} - T) \quad (4.8)$$

où T_{ext} est la température extérieure ($T_{ext} = T_i = 20\text{ °C}$ pour le côté intérieur et $T_{ext} = T_e = 0\text{ °C}$ pour le côté extérieur).

La résistance thermique superficielle, R_s , qui est liée au coefficient de transfert de chaleur, h , est définie par:

$$h = \frac{1}{R_s} \quad (4.9)$$

Les résistances thermiques internes et externes ne sont pas égales. De plus, sur les limites liées au côté interne, une résistance thermique augmentée est utilisée dans les bords. La figure 3 explique comment déterminer les frontières sur lesquelles elle devraient être appliquées.

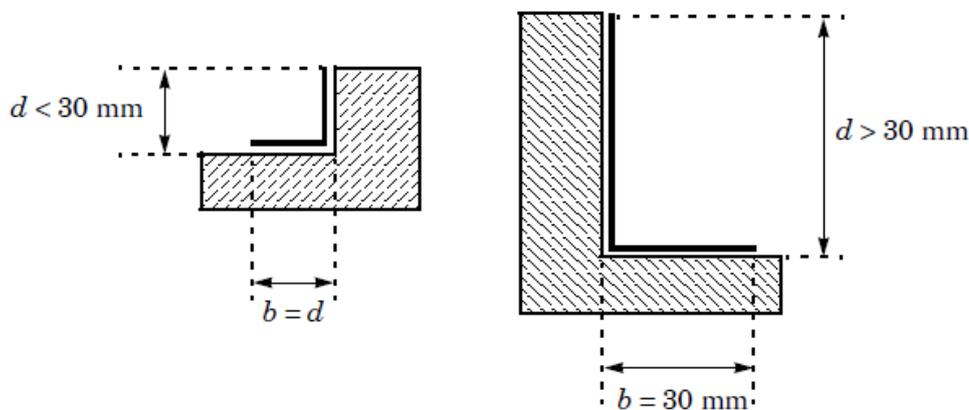


Figure 4.3 : Frontières spécifiques.

Si d est supérieur à 30 mm, b est fixé à 30 mm. Sinon, on prend $b = d$. De plus, deux limites sont considérées comme adiabatiques: la limite en contact avec le mur et l'extrémité du panneau isolant.

4. Description des quatre applications :

Les figures 4 à 7 illustrent la géométrie de chaque application, mais seule une partie du panneau isolant est représentée.

- Les cavités non ventilées sont numérotées en rouge, tandis que les cavités légèrement ventilées sont numérotées en vert.
- Les limites avec une résistance thermique augmentée sont représentées par des lignes noires épaisses.
- Les limites adiabatiques en contact avec le mur sont représentées par un rectangle à rayures.

4.1 Application 1: cadre en aluminium avec rupture de pont thermique :

La première application étudie la conduction thermique dans une section de cadre en aluminium avec rupteur de pont thermique. La structure du châssis est en aluminium à haute conductivité thermique k de 160 W/(m·K). Le rupteur thermique est constitué de quatre barrières en polyamide 6.6 avec 25% de fibre de verre. Ils ont une faible conductivité thermique de 0,30 W/(m·K). Des joints d'étanchéité à base d'éthylène propylène diène monomère (EPDM) sont également utilisés pour imperméabiliser la fenêtre. L'EPDM a une conductivité thermique de 0,25 W/(m·K). Le panneau isolant a une très faible conductivité thermique de 0,035 W/(m·K).

Ce cadre est divisé en plusieurs cavités: la plupart d'entre elles sont considérées comme des cavités non ventilées car elles ne sont pas connectées avec l'extérieur. Une seule cavité est connectée avec l'extérieur. Selon la norme, cette cavité est découpée en deux «sous-cavités» en raison de sa fente interne de 2 mm de largeur. La première cavité (marquée 1 sur la figure 4) est considérée comme une cavité non ventilée et la seconde cavité (marquée 10 sur la figure 4) est considérée comme une cavité légèrement ventilée.

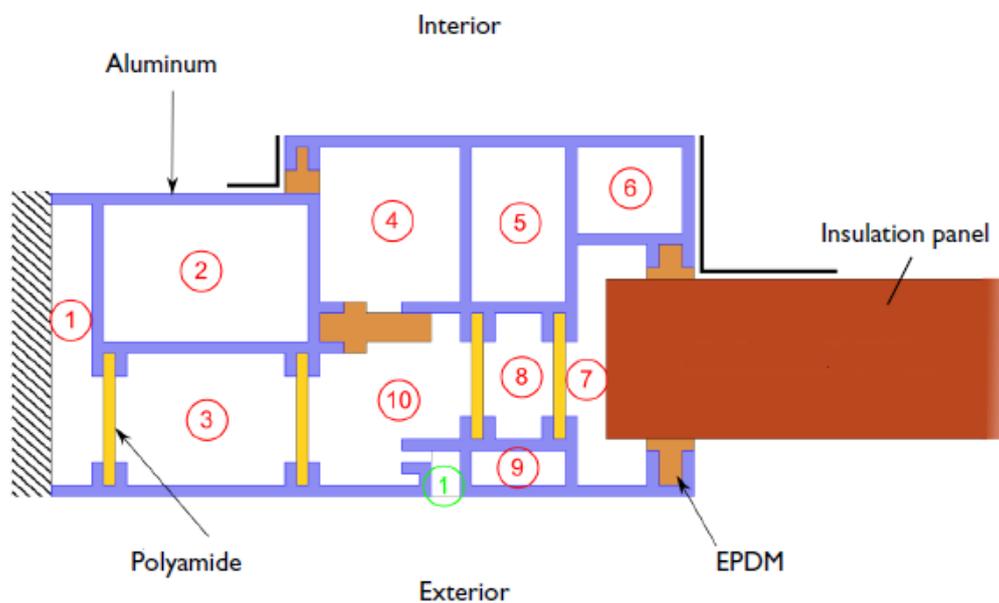


Figure 4.5 : Géométrie de la première fenêtre.

4.2 Application 2: cadre en bois recouvert d'aluminium :

La deuxième application étudie la conduction thermique dans une section de cadre en bois recouvert d'aluminium. Le cadre est composé de deux blocs de bois ayant une conductivité

thermique de $0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Du côté extérieur, un bloc de bois est recouvert d'une structure en aluminium à haute conductivité thermique. Cette fenêtre comprend également des joints EPDM. Toutes les cavités sont considérées comme des cavités non ventilées car elles sont soit fermées, soit connectées à l'extérieur par une fente de 2 mm de large.

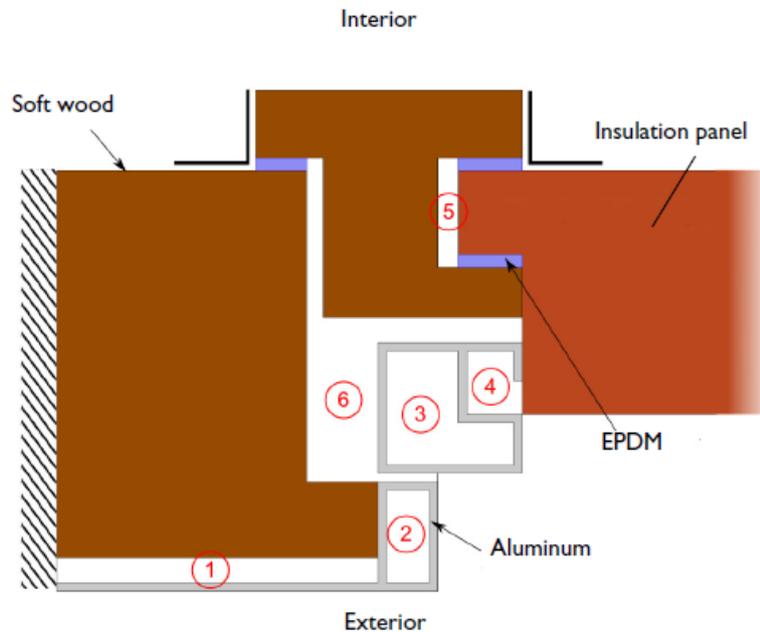


Figure 4.6 : Géométrie de la deuxième fenêtre.

4.3 Application 3: cadre en PVC avec renfort en acier :

La troisième application étudie la conduction thermique dans une section d'un châssis en PVC avec armature en acier. La structure principale du cadre est en PVC, qui a une conductivité thermique de $0,17 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$. Deux renforts en acier sont également présents. L'acier a une conductivité thermique élevée de $50 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$. Des joints EPDM sont utilisés. Les cavités d'air sont complètement fermées ou raccordées à l'extérieur par une fente d'une largeur maximale de 2 mm. Elles sont donc considérées comme des cavités non ventilées.

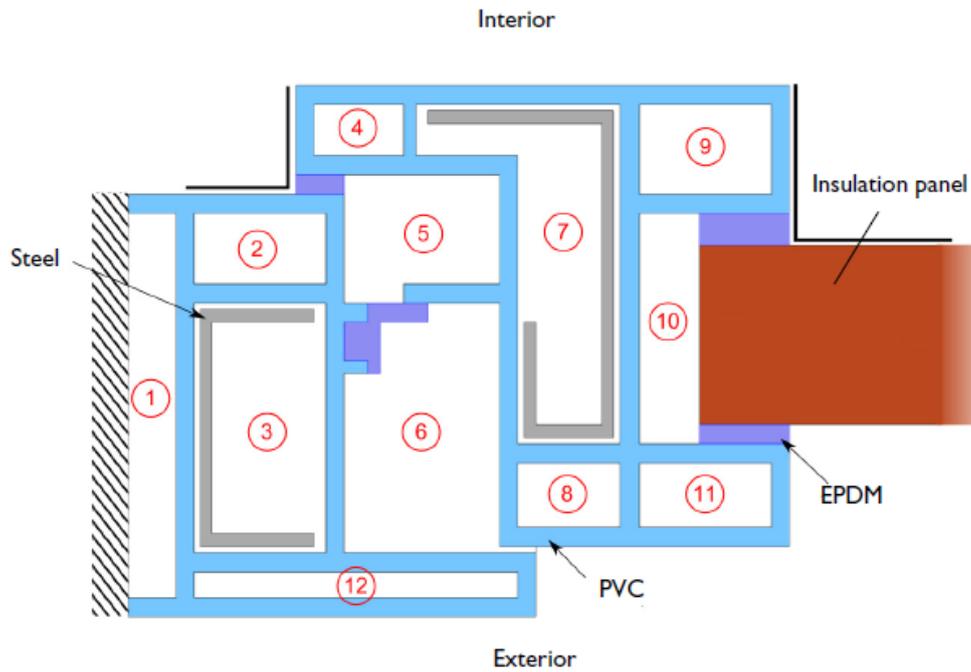


Figure 4.7 : Géométrie de la troisième fenêtre.

4.4 Application 4: cadre en PVC :

La quatrième application étudie la conduction thermique dans la section d'un cadre en PVC fixe. Un polyamide de conductivité thermique de $0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ est utilisé. Il existe également des joints EPDM pour imperméabiliser la fenêtre. Dans cette application, il y a sept cavités fermées et sont considérés comme non ventilés. De plus, une cavité est reliée à l'extérieur par une fente de 3 mm de largeur, de sorte qu'elle soit considérée comme légèrement ventilée.

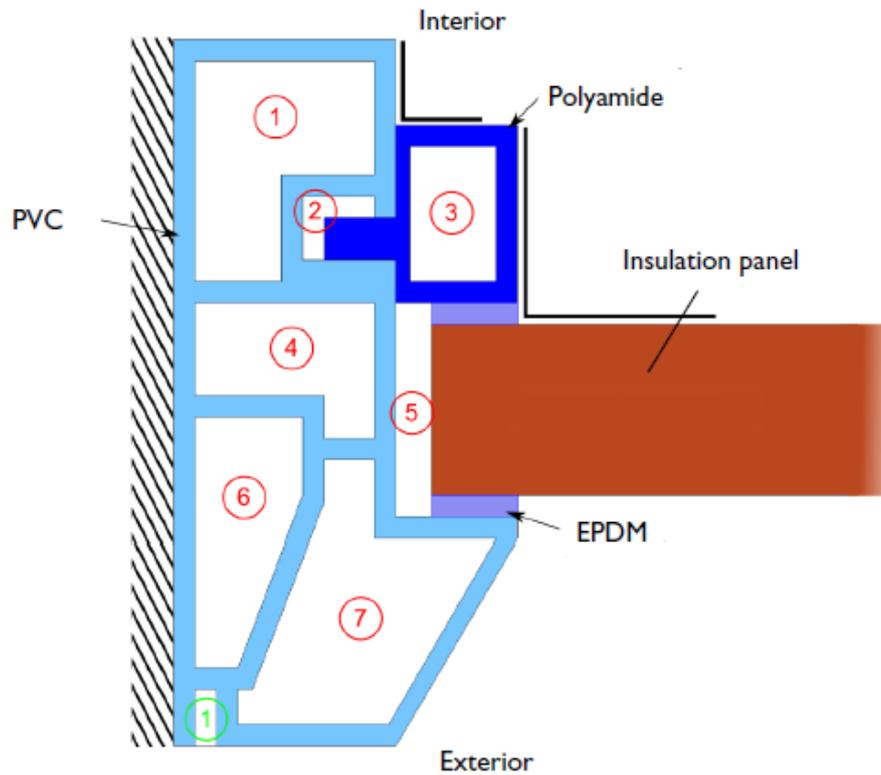


Figure 4.8 : Géométrie de la quatrième fenêtre.

5. Résultats et discussions:

5.1 Profils des températures :

Les profils de température pour chacune des quatre applications sont illustrés aux figures 8 à 11.

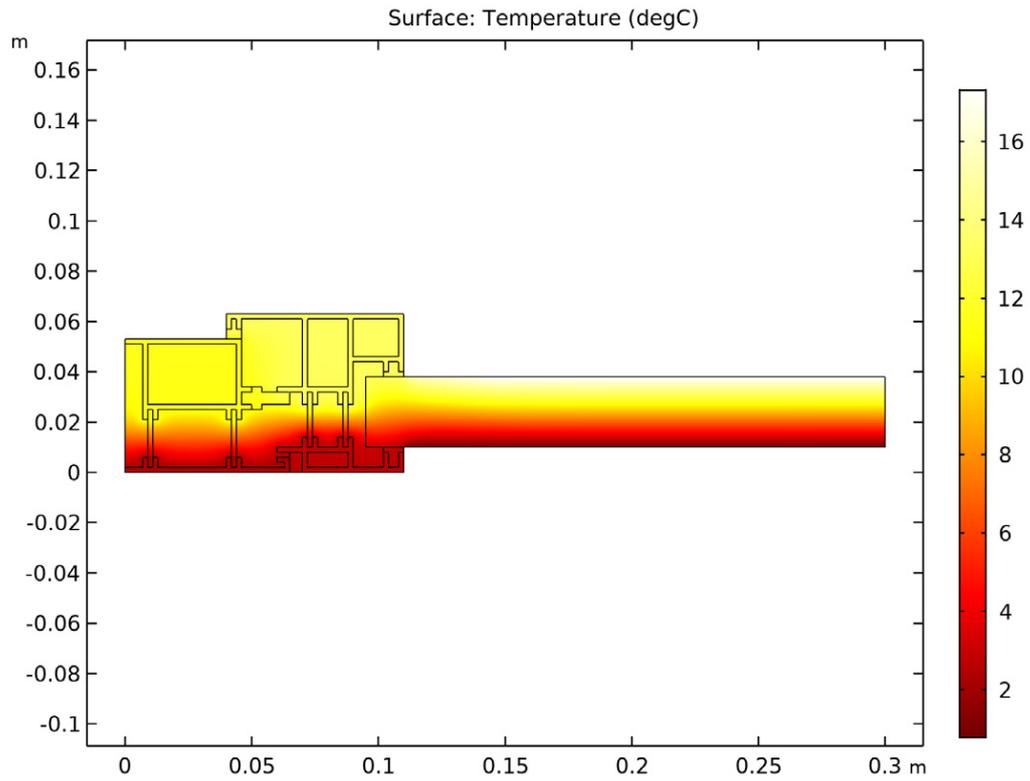


Figure 4.9 : Distribution de la température dans le cadre en aluminium avec rupteur thermique

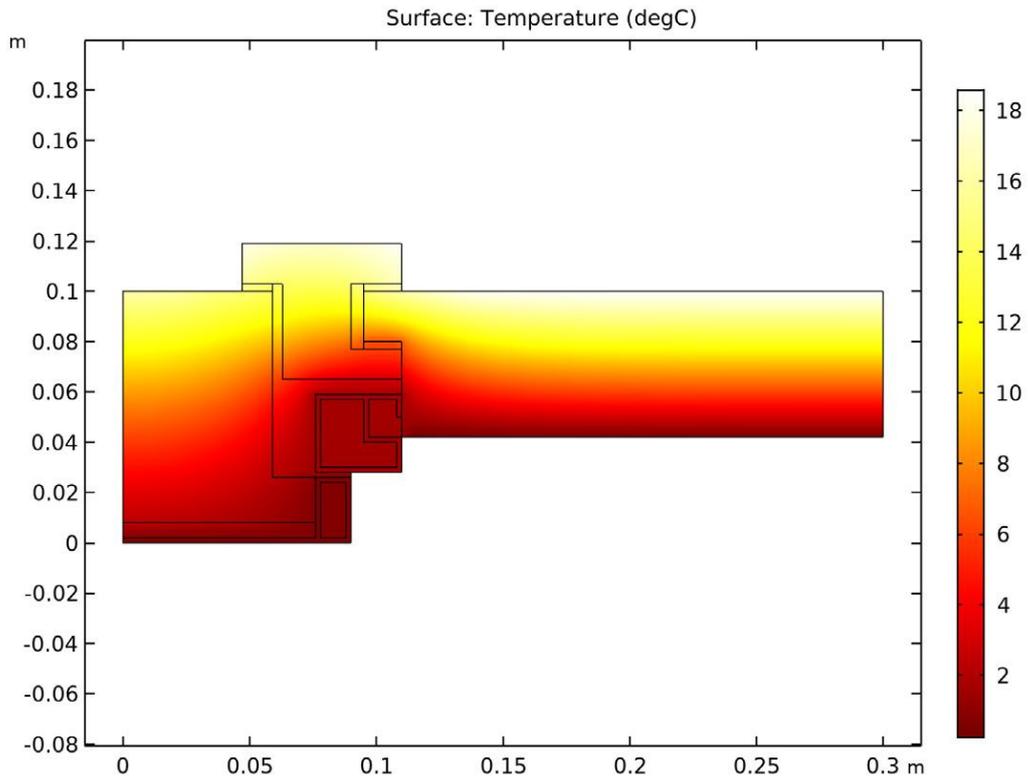
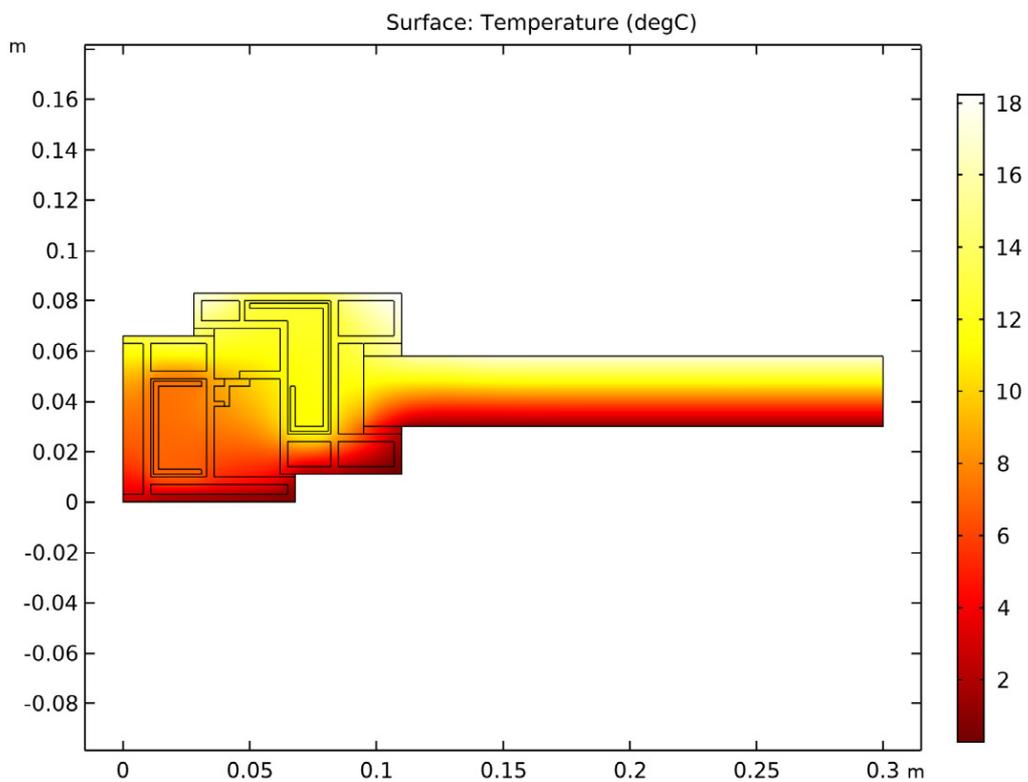


Figure 4.10 : Distribution de la température dans le cadre en bois recouvert d'aluminium



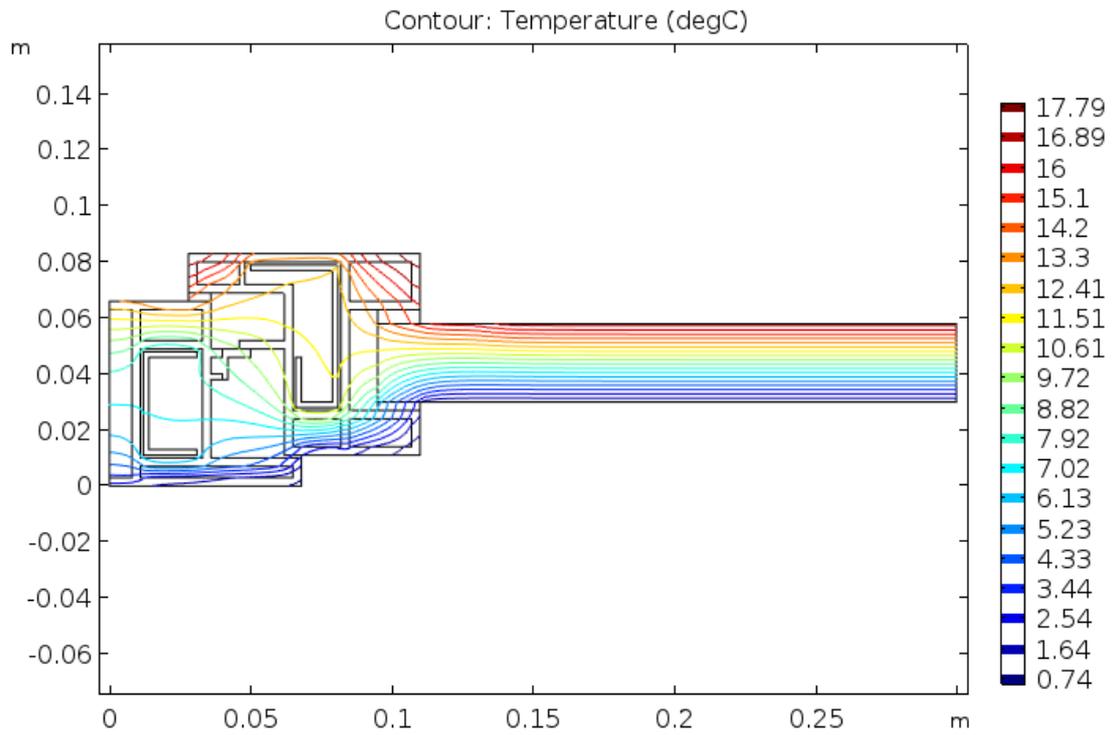


Figure 4.11 : Distribution et isotherme température dans le cadre en PVC avec renfort en acier.

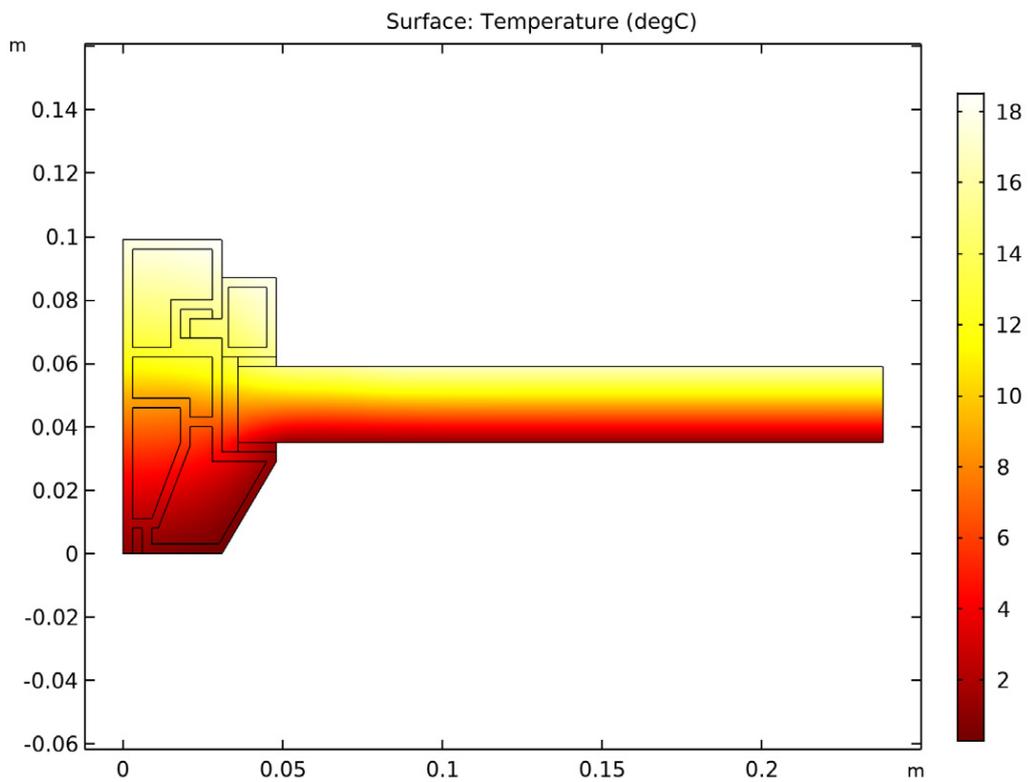


Figure 4.12 : Distribution de la température dans le cadre en PVC

5.2 Validation :

En vu de valider la simulation numérique pour les quatre applications et de confronter les résultats obtenus avec ceux de la norme ISO 10077-2:2012, on se doit de calculer les quantités suivantes:

- La conductance thermique la section entière L^{2D} donnée par:

$$L^{2D} = \frac{\phi}{T_e - T_i} \quad (4.10)$$

où ϕ est le débit de chaleur à travers la fenêtre (en W/m), $T_e = 0$ °C est la température externe et $T_i = 20$ °C est la température interne.

- La transmittance thermique du cadre U_f définie par:

$$U_f = \frac{L^{2D} - U_p b_p}{b_f} \quad (4.11)$$

où b_p est la largeur visible du panneau exprimée en mètres, b_f est la largeur projetée de la section du cadre exprimée en mètres, et U_p est le coefficient de transmission thermique de la zone centrale du panneau exprimée en W/(m²·K).

Les tableaux 1 à 4 comparent les résultats numériques de COMSOL Multiphysics aux valeurs prévues fournies par la norme ISO 10077-2: 2012.

Tableau 4.1 : Comparaison entre valeurs calculées et prévues pour l'application 1.

Quantité	Valeur prévue	Valeur calculée	Erreur relative
L^{2D} (W/(m.K))	0.550	0.556	1.09%
U_f (W/(m.K))	3.22	3.29	2.13%

Tableau 4.2 : Comparaison entre valeurs calculées et prévues pour l'application 2.

Quantité	Valeur prévue	Valeur calculée	Erreur relative
L^{2D} (W/(m.K))	0.263	0.265	0.76%
U_f (W/(m.K))	1.44	1.466	1.8%

Tableau 4.3 : Comparaison entre valeurs calculées et prévues pour l'application 3.

Quantité	Valeur prévue	Valeur calculée	Erreur relative
L^{2D} (W/(m.K))	0.424	0.428	0.94%
U_f (W/(m.K))	2.07	2.12	2.42%

Tableau 4.4 : Comparaison entre valeurs calculées et prévues pour l'application 4.

Quantité	Valeur prévue	Valeur calculée	Erreur relative
L^{2D} (W/(m.K))	0.285	0.284	0.35%
U_f (W/(m.K))	1.31	1.346	2.75%

6. Conclusion

Une simulation numérique via le logiciel commercial COMSOL Multiphysiques a été conduite sur quatre des six Benchmarks de la norme ISO 10077-2:2012. Cette dernière permet d'étudier le comportement thermique de profilés de différents cadres de fenêtres en PVC, en aluminium et autres matériaux servant à assurer l'étanchéité et l'isolation thermiques.

L'interprétation des résultats nous a permis de constater une bonne cohérence des résultats. En effet, les différences maximales admissibles pour réussir ce test sont de 3% pour la conductance thermique et de 5% pour le coefficient de transmission thermique. Les valeurs mesurées sont complètement cohérentes et répondent aux critères de validation.

Conclusion générale

Le travail entrepris dans ce mémoire de master concerne essentiellement le comportement thermique des fenêtres. En effet, une large partie de ce mémoire aborde les normes internationales utilisées dans la conception des fenêtres. En Algérie, l'utilisation des fenêtres dites "à hautes performances énergétiques", en PVC ou aluminium, avec ou sans rupteurs de ponts thermiques, mais aussi l'utilisation d'un double ou même un triple vitrage s'est vulgarisé durant la dernière décennie.

Cette approche contribue grandement à la réduction de la consommation d'énergie dans un bâtiment et une économie substantiel dans la facture d'énergie pour les citoyens à revenu modéré. Ajouter à cela, un confort thermique et acoustique irréprochable.

Lors de ce travail nous avons passé en revue le contexte énergétique algérien et montré la nécessité de réduire la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et tertiaire puisqu'il représente le premier poste de consommation d'énergie final.

Nous avons ensuite présenté les différents mécanismes qui régissent le transfert d'énergie dans les matériaux de construction et enchainé avec les normes utilisées dans la conception de ces fenêtres.

Notre contribution principale à ce sujet réside dans la réalisation d'une simulation numérique par un logiciel commercial appelé COMSOL Multiphysiques, le comportement thermiques de différentes sections de fenêtres composées de divers matériaux (PVC, Bois, aluminium, ...) a été étudié et validé.

L'interprétation des résultats nous a permis de constater une bonne cohérence des résultats. En effet, les différences maximales admissibles pour réussir ce test sont de 3% pour la conductance thermique et de 5% pour le coefficient de transmission thermique. Les valeurs mesurées sont complètement cohérentes et répondent aux critères de validation.

Références bibliographiques

- [1] Bilan Energétique National 2017 Edition 2018 . Site internet. URL :www.sonatrach.com
- [2] Site internet. URL : <https://chauffage.ooreka.fr> , <http://www.f-legrand.fr>
- [3] P.Y. Lagrée, Equation de la Chaleur, Chapitre du Cours de Mécanique des fluides, pp. 4.1-4.26, Mars 2010.
- [4] Site internet. URL : <http://www.lmm.jussieu.fr>
http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MECAVENIR/cours4_eqchal_loc.pdf
- [5] Site internet. URL : https://fr.wikibooks.org/wiki/Transferts_thermiques/Convection
- [6] Site internet. URL : https://fr.wikibooks.org/wiki/Transferts_thermiques/Convection
- [7] Site internet. URL : <https://docplayer.fr/8260352-Chapitre-4-transferts-de-chaleur-par-convection.html>.
- [8] Site internet. URL : <https://www.technologuepro.com/cours-transfert-thermique/chapitre-4-rayonnement-thermique.pdf>
- [9] Site internet. URL : <https://fenetres-nf.fr/reglementation/marquage-ce/>
- [10] Site internet. URL : <https://fenetres-nf.fr/marque-nf/>
- [11] Site internet. URL : <https://travaux.edf.fr/isolation-et-ventilation/les-normes-et-labels-de-l-isolation/certification-cekal-la-garantie-de-vitrages-performants>
- [12] Site internet. URL : http://www.cekal.com/site_html/D04R05.html
- [13] Site internet. URL : <https://www.guidemenuiserie.fr/professionnel-de-la-menuiserie-qualification-certification/>
- [14] ISO 10077-2: 2012, European Committee for Standardization, Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames, 2012.
- [15] Bouraoui, W., "Modélisation numérique du transfert de chaleur dans les parois multicouches de bâtiments", Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Juin 2014.