

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعلیم العالی و البـحث العلمی

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Par :

ASKEUR Anes

MEZIANE Ahmed Zakaria

Sujet

Étude de l'isolation thermique d'une Façade de bâtiment (double vitrage).

Soutenu publiquement, le 04 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mr. Aliane Abdennour	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mr. Korti Nabil	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
Mme BENAHMED Lamia	MCB	Université de Tlemcen	Encadrante
Mr. HENAOUI Mustapha	Docteur	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

A l'occasion de notre soutenance, nous tenons à remercier vivement ALLAH, le tout puissant qui a éclairé nos chemins, et pour la patience et la force qu'il nous a donné afin de réaliser ce travail.

قال تعالى: يَا أَيُّهَا النَّاسُ اذْكُرُوا نِعْمَتَ اللَّهِ عَلَيْكُمْ هَلْ مِنْ خَالِقٍ غَيْرِ اللَّهِ يَرْزُقُكُمْ مِنْ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ فَأَنَّى تُؤْفَكُونَ [فاطر:3]

Nous tenons à remercier Mme BENAHMED Lamia et Mr. HENAOUI Mustapha, pour la confiance qu'ils nous ont accordé en acceptant d'encadrer ce travail. Nous les exprimons particulièrement toute notre reconnaissance pour leurs multiples conseils et pour toutes les heures qu'ils ont consacrées à diriger cette recherche. Nous aimerons également leur dire à quel point on a apprécié leur grande disponibilité et leur respect sans faille des délais serrés de relecture des documents.

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury Monsieur Korti Nabil et Monsieur Aliane Abdennour qui ont accepté d'examiner ce travail et aussi qui ont participé à notre formation tout au long du cycle.

Dédicaces

Je dédie ce travail à

Mes chers parents

Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tous au long de mes études.

Mes chères frères et sœurs

Pour leurs encouragements permanents et leurs soutiens moraux.

Toute ma famille

Pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Mes chers amis

Pour leurs appuis et leurs encouragements.

ملخص:

في الأونة الأخيرة، نشهد استخدامًا متزايدًا لواجهات الجلد المزدوج في البناء، نظرًا لفوائدها الجمالية والهيكلية. ومع ذلك، تركز الأبحاث الحالية بشكل رئيسي على واجهات الجلد المزدوج. خلال فترات الحرارة العالية، لواجهات الجلد المزدوج المهوأة، تُنبت كفاءتها في تقليل الحرارة غير المرغوب فيها التي تخترق الفُرج الداخلية من خلال اتباع طريقتين بشكل خاص: التحكم المثلى في وسائل التظليل (الستائر العمودية) والاستفادة العقلانية من قناة التهوية. هدف دراستنا هو تحليل حساسية الهندسة ومواد الزجاج والشرايح والإشعاع الشمسي على الأداء الحراري مع تغيير سرعة الهواء عند مدخل قناة واجهة الجلد المزدوج باستخدام نموذج التحليل الديناميكي للسوائل (CFD) Fluent 6.3 في المحاكاة. تم اعتبار تهوية التدفق تحت التكيف القسري، واستخدم نموذج القيم المتفرقة للإشعاع، وزاوية الشرائح على طول قناة الجدار تبلغ 45 درجة. قدمت النتائج العديدة معلومات دقيقة حول العديد من الجوانب، مثل سرعة تدفق الهواء والطاقة الحركية التوربولنتية والإشعاع الشمسي الواقع وتوزيع درجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية :

واجهات الجلد المزدوج، الإشعاع الشمسي، الحمل القسري، شرائح

Abstract :

Lately, there has been an increasing use of double-skin facades (DSF) in constructions due to their aesthetic and structural advantages. However, existing research primarily focuses on double-skin facades. During hot periods, for ventilated double-skin facades, two methods have proven to be particularly effective in reducing unwanted heat penetration into interior spaces: optimal management of shading devices (venetian blinds) and rational utilization of the ventilation channel. The objective of our study is to analyze the sensitivity of geometry, glass materials, slats, and solar radiation on thermal performance, while varying the air velocity at the inlet of the DSF channel using the Computational Fluid Dynamics (CFD) model Fluent 6.3 for simulation.

The flow ventilation was considered under forced convection, and the Discrete Ordinates model was used for radiation. The slat angle along the wall channel is 45° . The numerical results provided accurate information on several aspects, such as air velocity, turbulent kinetic energy, incident solar radiation, and temperature distribution.

Keywords:

Double-skin facades, solar radiation, forced convection, Venetian

Résumé :

Ces derniers temps, on observe une utilisation croissante des façades à double peau (DSF) dans les constructions, en raison de leurs avantages esthétiques et structurels. Toutefois, les recherches existantes se concentrent principalement sur les façades à double peau. Pendant les périodes chaudes, pour les façades ventilées à double peau, deux méthodes se révèlent particulièrement efficaces pour réduire la chaleur indésirable pénétrant dans les espaces intérieurs : une gestion optimale des dispositifs d'ombrage (vénitienne) et une utilisation rationnelle du canal de ventilation. L'objectif de notre étude est d'analyser la sensibilité de la géométrie, des matériaux du vitrage, des lamelles et du rayonnement solaire sur les performances thermiques, en variant la vitesse d'air à l'entrée du canal de la (DSF) à l'aide du modèle CFD (Computational Fluid Dynamics) Fluent 6.3 qui a été utilisé pour la simulation.

La ventilation de l'écoulement était considérée en convection forcée et le modèle Ordonnées discrètes pour le rayonnement, l'angle des lamelles le long du canal du mur est de 45°.

Les résultats numériques ont fourni des informations précises sur plusieurs aspects, tels que la vitesse du flux d'air, l'énergie cinétique turbulente, le rayonnement solaire incident et la répartition de la température.

Mots clés :

Façades à double peau , rayonnement solaire , convection forcée , vénitienne

SOMMAIRE

Remerciement	3
Dédicaces	4
Résumé :.....	7
Liste des figures :	11
Liste de Tableaux :	12
Nomenclature.....	13
Introduction générale,	1
CHAPITRE I : Contexte énergétique et état de l'Art.	3
I.1 Introduction	4
I.2 Le confort thermique.....	5
I.2.1 Définitions	5
I.2.1.1 Notion de confort	5
I.2.1.2 Notion du confort thermique	5
I.2.2 Le confort thermique	6
I.2.2.1 Paramètres influant sur le confort thermique	6
I.2.2.2 Les échanges de la chaleur entre le corps et son environnement.....	8
I.3 La consommation d'énergie	9
I.3.1 Définition de l'énergie.....	9
I.3.2 Les ressources énergétiques.....	10
I.3.2.1 L'énergie primaire.....	10
I.3.2.2 L'énergie secondaire.	10
I.3.2.3 L'énergie final.....	10
I.3.3 La consommation d'énergie.	11
I.3.3.1 La consommation mondiale d'énergie.	11
I.3.3.2 La consommation d'énergie en Algérie	13
I.3.3.3 La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel.....	16
I.4 Les fenêtres	17
I.4.1 Généralités sur les Fenêtres	17
I.4.1.1 Définition	17

I.4.2	Les composants de la fenêtre.....	18
I.4.2.1	Cadre et châssis.....	18
I.4.2.2	Le vitrage de fenêtre.....	19
I.4.3	Les types d'ouverture des fenêtres.....	21
I.4.4	Transfert thermique dans une fenêtre.....	23
I.5	LA VENTILATION DANS LES BATIMENTS.....	24
I.5.1	Les types de ventilations :	24
I.5.1.1	La ventilation naturelle.....	24
I.5.1.2	La ventilation mécanique contrôlée	24
I.5.1.3	La ventilation hybride	26
I.5.2	Mode de ventilation	27
I.6	Conclusion.....	30
CHAPITRE II : Formulation du problème.....		31
II.1	Introduction	32
II.2	Physique de la DSF	33
II.3	Géométrie	33
II.4	Equations générales.....	34
II.4.1	Equation de la conservation de la masse.....	34
II.4.2	-Equation de la conservation de la quantité de mouvement	34
II.4.3	Le modèle de turbulence	35
II.4.4	Equation de la conservation de l'énergie	36
II.5	Transfert radiatif.....	36
II.6	Configuration géométrique et conditions aux limites	38
II.6.1	Condition aux limites à la sortie	39
II.6.2	II.5 Conditions aux limites radiatives	39
II.7	Conclusion.....	40
CHAPITRE III: Simulation Numérique		41
III.1	Introduction	42
III.2	Définition CFD.....	43
III.3	Le rôle de CFD.....	43

III.4	Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie	43
III.5	Description de Gambit	44
III.5.1	Création de la géométrie	44
III.5.2	Choix de maillage	46
III.5.3	Les conditions aux limites :	48
III.5.4	Exportation du maillage de Gambit	49
III.6	Définition de Fluent	50
III.6.1	Lancement de Fluent.....	50
III.6.2	Importation de la géométrie	51
III.6.3	Choix du matériel.....	51
III.7	Choix des modèles	53
III.7.1	Conditions de limites	54
III.8	Contrôle solution :	56
III.9	Conclusion.....	56
CHAPITRE IV	: Résultats et interprétations	57
IV.1	Introduction	58
IV.2	Maillage de la géométrie	58
IV.3	Distribution des lignes de courant.....	59
IV.4	Distribution de la vitesse	61
IV.5	Distribution de l'énergie cinétique.....	64
IV.6	Distribution de l'intensité turbulente.....	66
IV.7	Distribution de la température.....	68
IV.8	Distribution de la Radiation	71
	Conclusion générale.....	73
	Références biographiques	74

Liste des figures :

Figure I.1.L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort	6
Figure I.2.valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.....	7
Figure I.3.L'influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort.....	7
Figure I.4.Les échanges thermiques entre le corps et son environnement	9
Figure I.5.Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique	10
Figure I.6.La chaîne énergétique.....	11
Figure I.7.Répartition de la consommation énergétique mondiale selon les ressources en 2013.	12
Figure I.8.Consommation finale d'énergie par secteur dans le monde en 2012.....	13
Figure I.9.Tableau de la Consommation nationale par forme d'énergie.....	14
Figure I.10.Graphe sur la structure de la consommation nationale par forme d'énergie.....	15
Figure I.11.Consommation finale par Secteur.	16
Figure I.12.Consommation du secteur résidentiel en Algérie en 2005.	16
Figure I.13.Consommation du secteur résidentiel en Algérie en 2010.	17
Figure I.14.une fenêtre ouverte.....	17
Figure I.15.Le châssis en bois.....	30
Figure I.16.Le châssis en aluminium.....	31
Figure I.17.Le châssis en PVC.....	31
Figure I.18.simple vitrage.....	20
Figure I.19.: Double vitrage.....	20
Figure I.20.Triple vitrage.	21
Figure I.21.Principaux types d'ouverture de fenêtres.	22
Figure I.22.Échanges thermiques à travers et au sein d'une fenêtre	36
à double vitrage en condition hivernale	23
Figure I.23.Principe d'une VMC simple flux.	25
Figure I.24.Principe de fonctionnement de la VMC double flux.....	26
Figure I.25.Différents modes de ventilation.	28
Figure II.1.Différents échanges thermiques.....	47
Figure II.2.Géométrie de la façade double peau.....	47
Figure II.3.Représentation de la luminance monochromatique	37
Figure II.4.de calcul et conditions aux limites.....	53
Figure III.1.Les outils utilisée dans la création de la Géométrie.	44
Figure III.2.Création de la géométrie.	45
Figure III.3.Maillage des parois extérieures	46
Figure III.4.Maillage des vénitiens.....	46

Figure III.5.Le maillage final..	47
Figure III.6.Maillage dans l'entree et dans la sortie.....	47
Figure III.7.Les conditions aux limites des Parois en contact avec l'exterieur	48
Figure III.8.les conditions aux limite de la sortie et l'entree.....	48
Figure III.9.Exportation du maillage.....	49
Figure III.10.Le lancement du Fluent.....	50
Figure III.11.Importation de la géométrie dans Fluent.....	51
Figure III.12.Choix du matériel (Fluide air).....	51
Figure III.13.Choix du matériel Solid aluminium.....	52
Figure III.14.Choix du matériel Solid verre.....	52
Figure III.15.Choix du modèle de radiation.....	53
Figure III.16Choix du modèle de Turbulence.....	53
Figure III.17.Choix du modèle énergie	54
Figure III.18.Vitesse de l'air à l'entree.....	54
Figure III.19.Condition outflow à la sortie	54
Figure III.20.Conditions aux limites thermiques au niveau du vitrage exterieur	55
Figure III.21.Choix des différentes conditions aux limites.....	55
Figure III.22.Précision de la solution	56
Figure IV.1.Maillage de la géométrie	
Figure IV.2.contour de la vitesse à la sortie.....	60
Figure IV.3.contour de la vitesse à la sortie	63
Figure IV.4.profil de la vitesse suivant l'axe y le long de la conduite.....	63
Figure IV.5.profil de la vitesse axiale à la sortie.....	64
Figure IV.6.Contour de la turbulence.....	66
Figure IV.7.Contour de l'intensité turbulente.....	67
Figure IV.8.Profil de la distribution de l'intensité turbulente.....	68
Figure IV.9.Contour de la température.....	69
Figure IV.10.profil de la distribution de la température à la sortie.....	70
Figure IV.11.profil de la distribution de la température au long de la conduite.....	70
Figure IV.12.Contour de la radiation.....	71
Liste de Tableaux :	
Tableau II.1.Conditions aux limites pour le calcul du GCI, Safer.....	38
Tableau II.2.Propriétés des matériaux.....	40
Tableau IV.1.Visualisation des valeurs moyennes de la vitesse, l'énergie cinétique et de la température	71

Nomenclature

KWH : kilo wattheure

KWH / hab : kilo wattheure/habitant

GES : Gaz à Effet de Serre

TEP : Tonne équivalent pétrole

KTEP : Kilo tonne équivalent pétrole

MTEP : : Million de tonnes équivalent pétrole

KTEC : kilo Tonne équivalent charbon

MW : Méga Watt

GWH : Giga Wattheure = 1000 MWh

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

GHF : Gaz de Hauts Fourneaux

GPL : Les Gaz de Pétrole Liquéfiés

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

ISMME : : Industries Sidérurgiques, Métalliques, Mécaniques et Électriques

Clo : Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1

Ta : La température ambiante de l'air.

Tp : la température des parois.

Qsk: Le flux de chaleur échangé à la surface de la peau (W/m²) ;

C : L'échange de chaleur par convection (W/m²) ;

K : L'échange de chaleur par conduction (W/m²) ;

R : L'échange de chaleur par rayonnement (W/m²) ;

Esk: L'échange de chaleur par évaporation de la sueur (W/m²).

•Q_RES: Le flux de chaleur échangé par la respiration (W/m²) ;

•C_RES : Les échanges thermiques par la convection respiratoire (W/m²) ;

•E_RES : Les échanges thermiques par l'évaporation respiratoire (W/m²).

$\partial\rho/\partial t$: terme instationnaire de la variation locale de la masse en fonction du temps

$\nabla(\rho\vec{u})$:variation convective due au champ de vitesses.

$\nabla\cdot\vec{\tau}$: représente la divergence du tenseur des contraintes.

$\vec{\tau}$: Il représente les forces visqueuses agissant sur l'élément fluide.

u' : est la vitesse de fluctuation

p' : est la pression de fluctuation

Re : nombre de reynolds

Dh : le diamètre hydraulique

S: Terme source

dQ : est la quantité d'énergie lumineuse émise dans une direction donnée à une longueur d'onde donnée.

ds : est l'élément d'aire sur la surface de la source lumineuse.

$\cos\theta$: est le cosinus de l'angle entre la normale à la surface de la source et la direction de l'observation .

$d\lambda$: est l'élément de longueur d'onde .

$d\Omega$: est l'élément de solid angle.

L'ETR : est le résultat d'un bilan établi sur un volume élémentaire représentant la conservation de la luminance.

$d\lambda$: l'unité de longueur d'onde autour de λ

$\vec{\lambda}$: l'unité de surface perpendiculaire.

$d\Omega$: l'unité d'angle solide.

λ : la longueur d'onde.

Introduction générale

Introduction générale

Le présent mémoire de master en génie mécanique énergétique se concentre sur l'étude de l'isolation thermique d'une façade de bâtiment à l'aide d'un double vitrage. L'objectif principal de cette recherche est d'analyser les performances thermiques de la façade et d'évaluer son efficacité en termes de confort thermique et de consommation d'énergie. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé des simulations numériques à l'aide des logiciels Gambit et Fluent pour modéliser et analyser le comportement thermo-aéroulrique de la façade.

Le mémoire est divisé en quatre chapitres clés. Le premier chapitre, intitulé "Contexte énergétique et état de l'Art", explore le contexte énergétique actuel, mettant en évidence l'importance du confort thermique et la consommation d'énergie dans les bâtiments. Nous examinons également les fenêtres et la ventilation, en soulignant leur rôle crucial dans la performance énergétique des bâtiments.

Le deuxième chapitre, "Formulation du problème", se concentre sur la modélisation physique des composants de la façade. Nous discutons des paramètres qui influencent le comportement thermo-aéroulrique de la façade, tels que le rayonnement solaire, la température de l'air extérieur et intérieur, la vitesse du vent, les propriétés des matériaux et la gestion des protections solaires. En outre, nous abordons les équations générales et le transfert radiatif nécessaires pour modéliser la façade.

Le troisième chapitre, "Simulation Numérique", explore l'utilisation de la mécanique des fluides numérique (CFD) pour étudier la façade à double peau. Nous présentons les logiciels Gambit et Fluent, ainsi que le choix des modèles et des conditions aux limites appropriés pour les simulations. Cette approche nous permet d'obtenir des résultats précis et fiables concernant les échanges de chaleur et d'air au sein de la façade.

Enfin, le quatrième chapitre, "Résultats et interprétations", présente les résultats des simulations obtenues à l'aide du logiciel Fluent. Nous examinons des aspects tels que le maillage de la géométrie, la distribution des lignes de courant, la vitesse, l'énergie cinétique, l'intensité turbulente, la température et la radiation. Ces résultats nous permettent d'évaluer les performances thermiques de la façade et d'interpréter les effets de différentes configurations sur son isolation thermique.

Introduction générale

Dans l'ensemble, ce mémoire vise à fournir une analyse approfondie de l'isolation thermique d'une façade de bâtiment avec double vitrage. Les résultats obtenus à partir des simulations numériques nous aideront à comprendre les mécanismes thermiques en jeu et à proposer des recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Chapitre I:

Contexte énergétique

et état de l'Art.

I.1 Introduction

Dans un contexte mondial marqué par l'urgence climatique et la nécessité de réduire notre empreinte énergétique, l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue une priorité incontournable. Les bâtiments représentent une part significative de la consommation mondiale d'énergie, et il est essentiel d'optimiser leur performance énergétique pour atteindre les objectifs de durabilité. Dans ce chapitre, intitulé "Contexte énergétique et état de l'Art", nous allons explorer les différents aspects liés au confort thermique, à la consommation d'énergie, aux fenêtres et à la ventilation dans les bâtiments.

Le confort thermique est un critère essentiel pour garantir un environnement intérieur agréable. Nous aborderons les principaux éléments qui influencent le confort thermique comme les paramètres liés à l'environnement tels que la température des parois et la vitesse de la circulation de l'air et sa température ambiante. Et les paramètres liés à l'individu comme le métabolisme et l'habillement. Comprendre ces paramètres est crucial pour concevoir des bâtiments qui répondent aux besoins demandés et économisent la consommation d'énergie.

La consommation d'énergie est un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment. Nous examinerons les ressources énergétiques, la consommation mondiale d'énergie et, plus spécifiquement, en Algérie. Une attention particulière sera portée à la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, qui représente une part significative de la demande énergétique totale. Comprendre les tendances et les défis de la consommation d'énergie dans ce secteur nous permettra d'identifier les pistes d'amélioration pour une utilisation plus efficace de l'énergie.

Les fenêtres et la ventilation jouent un rôle crucial dans la conception des bâtiments. Nous explorerons les aspects généraux des fenêtres, en mettant l'accent sur les cadres, les châssis et le vitrage. Le transfert thermique à travers les fenêtres sera également examiné en détail. En ce qui concerne la ventilation, nous discuterons des différentes méthodes, notamment la ventilation naturelle, la ventilation mécanique contrôlée et la ventilation hybride. Comprendre les principes de la ventilation nous permettra d'évaluer l'impact de différents modes de ventilation sur l'efficacité énergétique et le confort des occupants.

En résumé, ce chapitre offre un aperçu complet du contexte énergétique et de l'état de l'art dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments. En explorant les concepts clés tels que le confort thermique, la consommation d'énergie, les fenêtres et la ventilation, nous posons les bases nécessaires pour approfondir notre étude sur l'isolation thermique d'une façade de bâtiment avec double vitrage.

I.2 Le confort thermique

I.2.1 Définitions :

I.2.1.1 Notion de confort :

Le confort est une notion globale : chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort.

Le confort dépend de l'ensemble des commodités procurant de l'agrément, générant une impression plaisante ressentie par le sens et l'esprit, voire même un certain plaisir ... tout ce qui fait défaut, qui est difficile à utiliser, qui ne correspond pas aux attentes, qui gêne ou qui est désagréable est contraire à la notion de confort. ¹

I.2.1.2 Notion du confort thermique :

D'abord, le confort thermique est un phénomène physique soumis à une faible part de subjectivité. Il peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état.

Aussi, 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 à l'aise, 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 trop chaude ni trop froide (inconfort local).¹

I.2.2 Le confort thermique

I.2.2.1 Paramètres influant sur le confort thermique

Le confort thermique de l'être humain dépend principalement de six paramètres de nature physiologiques, comportementaux et environnementaux liés à l'individu et à l'environnement tels que le métabolisme, l'habillement, la température ambiante de l'air, la température des parois, l'humidité relative et la vitesse de l'air.²

A. Les paramètres liés à l'individu

- Le métabolisme

Le métabolisme (M) du corps humain est l'opération de la production de la chaleur afin de maintenir la température du corps autour de 36,7 °C. Ce paramètre varie en fonction de l'activité qui influe directement sur la température du confort (Figure I.1.).²

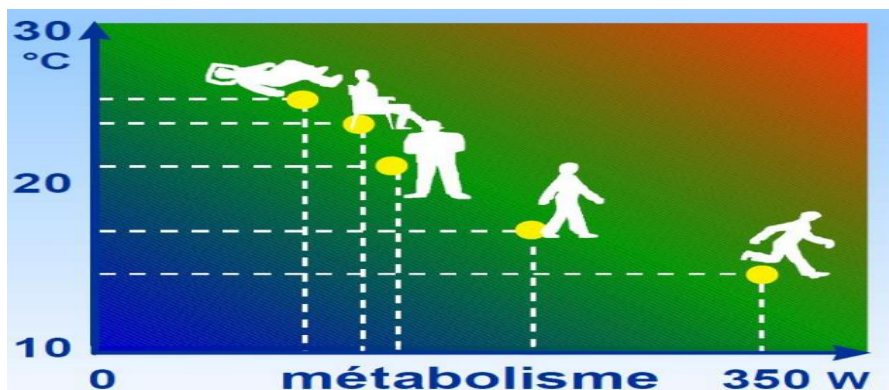


Figure I.1. L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort ²

- L'habillement

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimentaire, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue, exprimé en Clo¹⁴, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement (figure I.2.).

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement.³

Avec Clo c'est : l'Unité d'isolement vestimentaire avec $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$

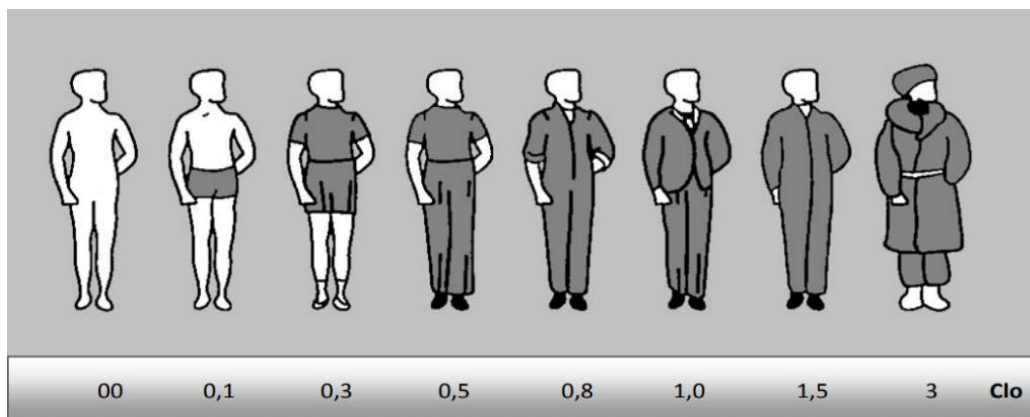


Figure I.2.valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.

3

B. Les paramètres liés à l'environnement

- La température ambiante de l'air

La température ambiante de l'air (T_a) est un paramètre très important qui influe sur la température du confort (Figure I.1.3). Cette dernière appelée aussi la température opérative ou la température résultante sèche, elle est calculée par la moyenne de la température ambiante (T_a) et la température des parois (T_p) comme le démontre la formule suivante :

$$\frac{T_a + T_p}{2} = T_{rs} \quad (1)$$

- La température des parois

La température des parois (T_p) représente la température moyenne de toutes les parois internes (Figure I.3). Ce paramètre influe sur la température opérative ainsi que sur le confort tactile par l'effet de la paroi froide ou la paroi chaude.

La prise en compte de la température de l'air et la température des parois permet d'assurer des ambiances confortables. 2

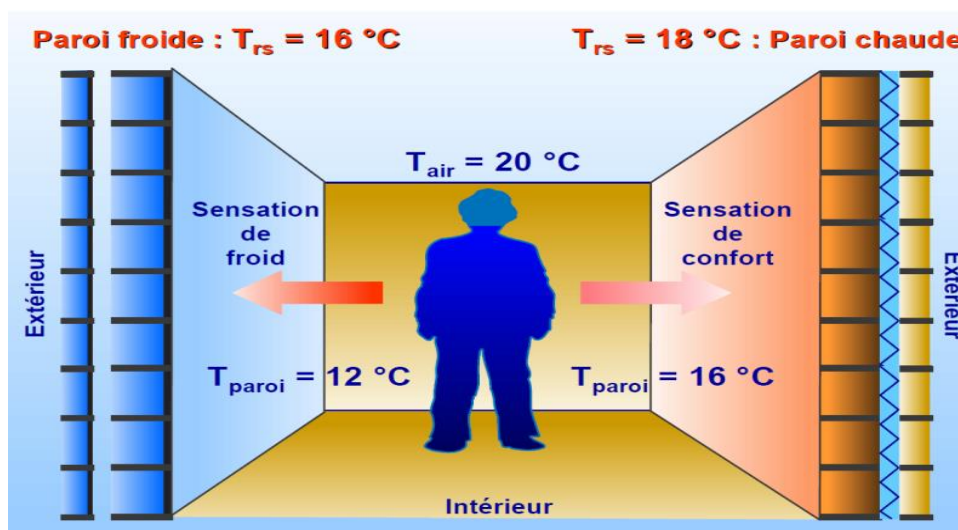


Figure I.3.L'influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort 2

- La vitesse de l'air

Joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s. Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés.⁵

I.2.2.2 Les échanges de la chaleur entre le corps et son environnement

Dans toutes ambiances thermiques, un ensemble d'échanges de chaleur se font entre le corps de l'occupant et l'environnement thermique. Cette interaction engendre des échanges cutanés et respiratoires.

Les échanges de chaleurs effectués entre la peau et l'ambiance thermique (Q_{SK}) et les échanges respiratoires (Q_{RES}). De son côté, les échanges cutanés sont composés d'échange de chaleur par convection, par conduction, par rayonnement et par évaporation de la sueur selon l'équation suivante :

$$Q_{SK} = C + R + K + E_{SK} \quad (2)$$

Où :

Q_{SK} : Le flux de chaleur échangé à la surface de la peau (W/m^2) ;

C : L'échange de chaleur par convection (W/m^2) ;

K : L'échange de chaleur par conduction (W/m^2) ;

R : L'échange de chaleur par rayonnement (W/m^2) ;

E_{SK} : L'échange de chaleur par évaporation de la sueur (W/m^2).²

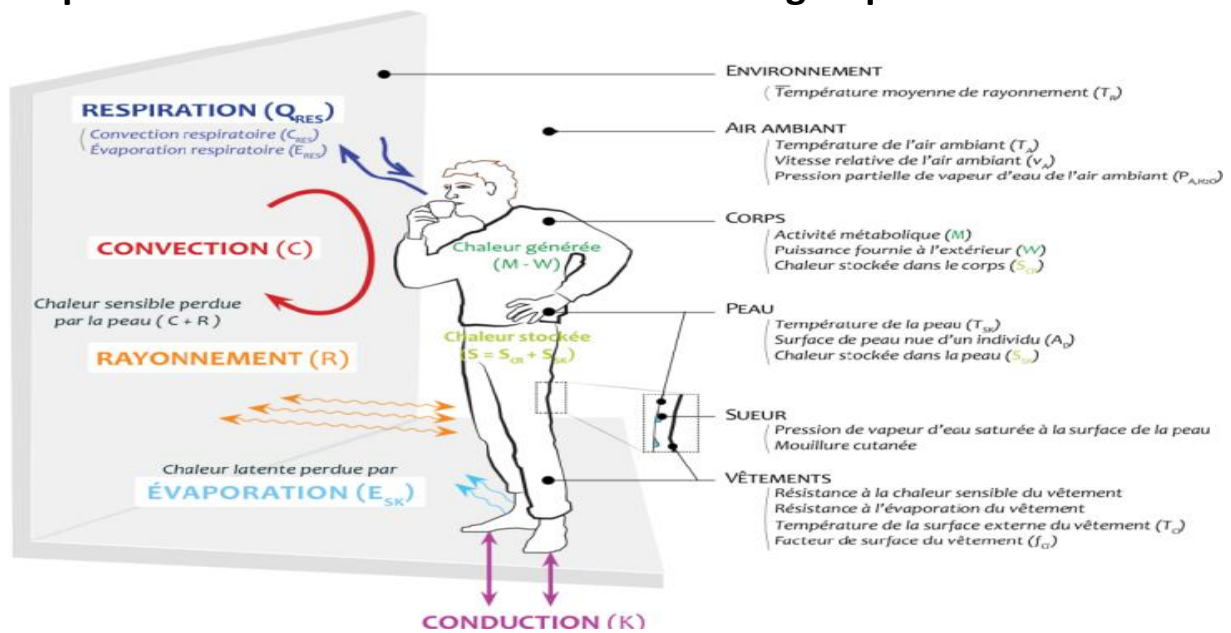


Figure I.4. Les échanges thermiques entre le corps et son environnement 6

Les échanges respiratoires (Q_{RES}) s'effectuent par convection (C_{RES}) et par évaporation (E_{RES}) comme il est illustré par l'équation suivante :

$$Q_{RES} = C_{RES} + E_{RES} \quad (3)$$

Où :

- Q_{RES} : Le flux de chaleur échangé par la respiration (W/m^2) ;
- C_{RES} : Les échanges thermiques par la convection respiratoire (W/m^2) ;
- E_{RES} : Les échanges thermiques par l'évaporation respiratoire (W/m^2).²

I.3 La consommation d'énergie

I.3.1 Définition de l'énergie

Capacité d'un système à produire un travail. L'énergie est l'un des quatre concepts prédéfinis de la physique, avec la matière, l'espace et le temps.

Le concept de l'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux thèmes principaux :

- Le coût énergétique « initial » de l'ouvrage se forme à partir du coût énergétique des matériaux utilisés, et du coût de la construction ;
- Le coût énergétique « vécu » de l'ouvrage qui correspond à la consommation en chauffage ou climatisation, éclairage et alimentation.⁷

Le besoin de l'énergie en chaleur dans les bâtiments se traduit par une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz. Cette demande peut être schématisée ainsi Fig I.5 :

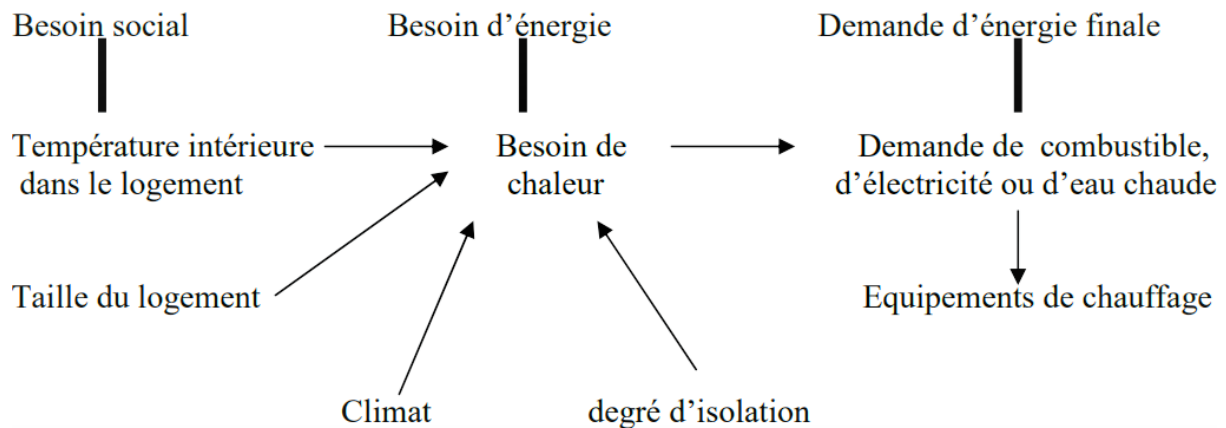


Figure I.5. Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique ⁷

I.3.2 Les ressources énergétiques.

I.3.2.1 L'énergie primaire.

Toute la consommation d'énergie destinée à satisfaire les divers besoins de l'homme est issue de formes d'énergies dites primaires qui sont soit épuisables (énergies fossiles comme le charbon, le pétrole, le gaz naturel, mais aussi l'uranium), soit renouvelables (énergies hydraulique, éolienne, marines, géothermique et solaire, y compris la biomasse qui est une concentration d'énergie solaire en carbone dans un végétal). ⁹

I.3.2.2 L'énergie secondaire.

Il existe trois grands types d'énergies secondaires : l'énergie nucléaire issue des centrales, les énergies secondaires fossiles, comme le gaz naturel liquide ou les produits pétroliers raffinés, et les énergies secondaires renouvelables. ¹⁰

I.3.2.3 L'énergie final.

L'énergie dite « finale » est celle qui est utilisée à la satisfaction des besoins de l'homme. La satisfaction des besoins peut être directe, si l'énergie est consommée par un être humain au cours d'un usage domestique (se chauffer, travailler sur son ordinateur, se déplacer en voiture), ou indirecte si elle est utilisée dans la production de biens ou de services destinés à la consommation humaine. ¹¹

La chaîne énergétique reliant l'énergie primaire (énergie disponible dans la nature avant toute transformation) et l'énergie finale est présentée par la Figure I.6. ¹¹

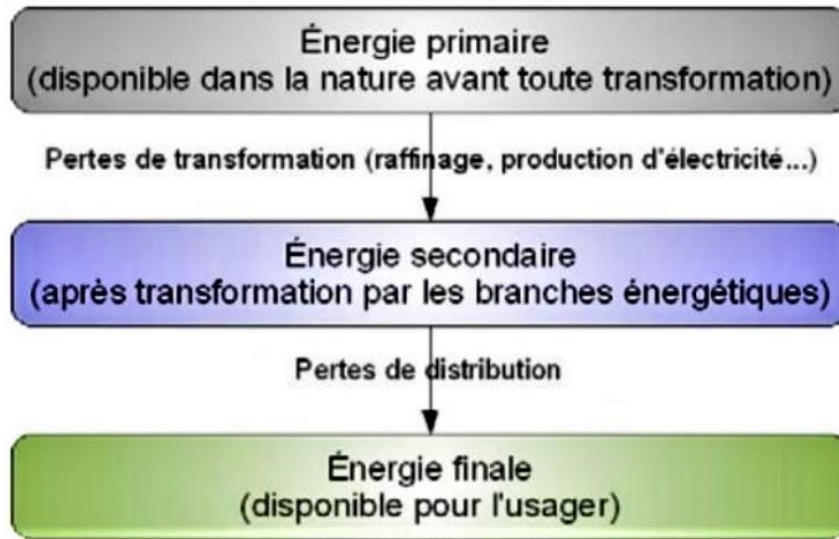


Figure I.6. La chaîne énergétique. ¹¹

I.3.3 La consommation d'énergie.

I.3.3.1 La consommation mondiale d'énergie.

L'énergie est le moteur de développement des sociétés modernes. Elle joue un rôle vital dans notre quotidien en intervenant dans de nombreux domaines d'activités domestiques et économiques. ¹²

La consommation énergétique mondiale est dominée par les combustibles fossiles que sont le pétrole, le charbon et le gaz. En 2013 leur part dans le mix énergétique mondial a atteint 87% ; dont 33% de pétrole, 24% de gaz et 30% de charbon (Figure. I.7).

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, les ressources fossiles constitueront encore dans les 30 prochaines années l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial et continueront de surmonter le secteur de l'énergie. ¹²

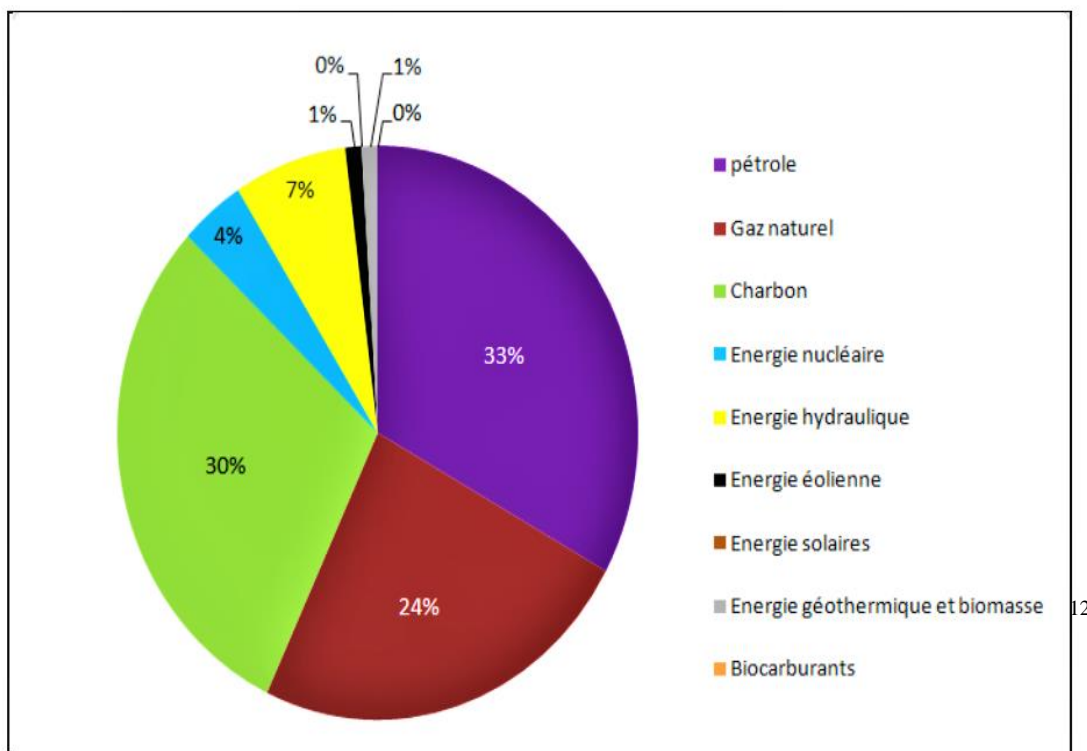


Figure I.7. Répartition de la consommation énergétique mondiale selon les ressources en 2013.

C. Evolution de la consommation énergétique dans le monde

L'évolution continue de la population mondiale, le confort recherché par les différentes populations, conjugués à la forte croissance économique ont engendré une augmentation permanente et considérable de la consommation d'énergie. Cette dernière a augmenté en 2013 de 2,3% par rapport à l'an 2012. Elle a atteint 12730,4 Mtep pour une population mondiale de 7,07 milliards d'habitants. En effet, devant une demande de plus en plus accrue, la consommation énergétique n'a pas cessé d'augmenter depuis la révolution industrielle.¹²

D. Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité

On peut retenir que la consommation finale se partage entre quatre secteurs :

- La consommation des « résidentiels » (part directement utilisée au domicile) représente un peu moins d'un quart du total. Elle est très variée dans ses formes : elle recouvre par exemple les dépenses de chauffage des habitants du nord de l'Europe et le bois brûlé dans les fours domestiques des régions vivant sans accès à l'électricité.
- Les transports (privés et professionnels) représentent un peu plus du quart de la consommation finale.
- L'industrie, qui fabrique les biens et services finaux, un bon quart.

- Les autres activités humaines consomment un peu moins du dernier quart de la consommation finale, dont 10% est l'énergie fossile qui n'est pas brûlée, mais utilisée pour la fabrication de produits chimiques (par exemple plastiques et engrais).

La répartition de la consommation finale entre les différents secteurs est présentée comme suit (Figure I.8) : ¹²

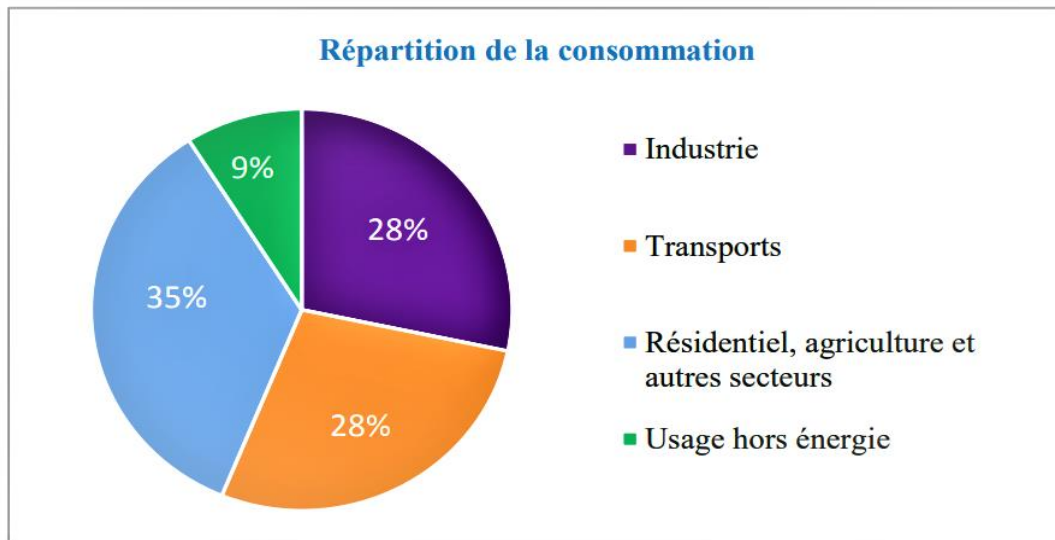


Figure I.8. Consommation finale d'énergie par secteur dans le monde en 2012. ¹²

I.3.3.2 La consommation d'énergie en Algérie

Dans un rapport du ministère de l'énergie, le taux de consommation interne d'énergie poursuit sa tendance à la hausse et va vraisemblablement doubler vers 2030, puis tripler, selon les estimations en 2040. ¹³

En 2017, la consommation finale d'énergie a ainsi grimpé de 4,1% pour atteindre 44,6 millions de tonnes de produits pétroliers, dont le gaz naturel (+7,9%) et l'électricité (+6,4%) en particulier. En revanche, la consommation de produits pétroliers a diminué de 1,2%. L'observation faite par les fonctionnaires du Ministère de l'énergie montre que la production nationale est restée stable alors que la consommation intérieure a augmenté. Ainsi, la consommation des ménages a atteint 19 808 tonnes de produits pétroliers en 2017, dont 14 196 tonnes pour le résidentiel et 416 tonnes pour l'agriculture, contre 18 584 tonnes l'année précédente, ce qui correspond à une augmentation de 6,6%. ¹³

Il est important de noter que l'énergie électrique représente plus de 60 % de l'énergie consommée par les ménages, alors que 98 % de l'électricité est produite à partir du gaz naturel. En conséquence des augmentations de températures notées dans le nord du pays, le gestionnaire du réseau a enregistré le mardi 11 juillet 2017, à 15h30, avec une consommation électrique record de 13 227

MW sur le réseau national. Cette demande d'électricité dépasse de 330 MW la demande maximale enregistrée à l'été 2016 le 1er août de la même année, ce qui correspond à une augmentation de plus de 3%.

E. Evolution de consommation nationale énergétique par forme d'énergie

La consommation nationale a augmenté de (7,7%), passant de 62,3 MTep à 67,2 MTep en 2021, tirée par celle de l'électricité (11,5%) et du gaz naturel (7,8%), comme détaillé dans le figure ci-dessous : ¹⁴

Produit	Unités	2020	2021	Evolution		
				Quantité	(%)	
Gaz naturel	K Tep	24 640	26 551	1 911	7,8	
	10 ⁶ m ³	26 074	28 096			
Produits pétroliers	K Tep	14 355	14 824	469	3,3	
	K tonnes	13 735	14 181			
Electricité	K Tep	18 282	20 379	2 096	11,5	
	GWh	79 094	84 240			
GPL	K Tep	2 809	3 106	297	10,6	
	K tonnes	2 381	2 632			
Pétrole brut ¹⁰	K Tep	1 341	907	-434	-32,4	
	K tonnes	1 215	822			
Condensat	K Tep	32	24	-8	-24,6	
	K tonnes	28	21			
Produits solides dont :	K Tep	21	50	29	142,9	
	-Coke Sidérurgique	K tec	14			68
	-Bois	10 ³ m ³	54			13
Autres :	K Tep	863	1 311	448	51,9	
	-GNL ¹¹	10 ⁶ m ³	273			232
	-GHF	10 ⁶ m ³	640			1 156
Total	K Tep	62 343	67 153	4 810	7,7	

Figure I.9. Tableau de la Consommation nationale par forme d'énergie. ¹⁴

La répartition de la consommation nationale par forme d'énergie reste dominée par le gaz naturel (38%), suivi par l'électricité (29%) et les produits liquides (27%), comme illustré ci-après :

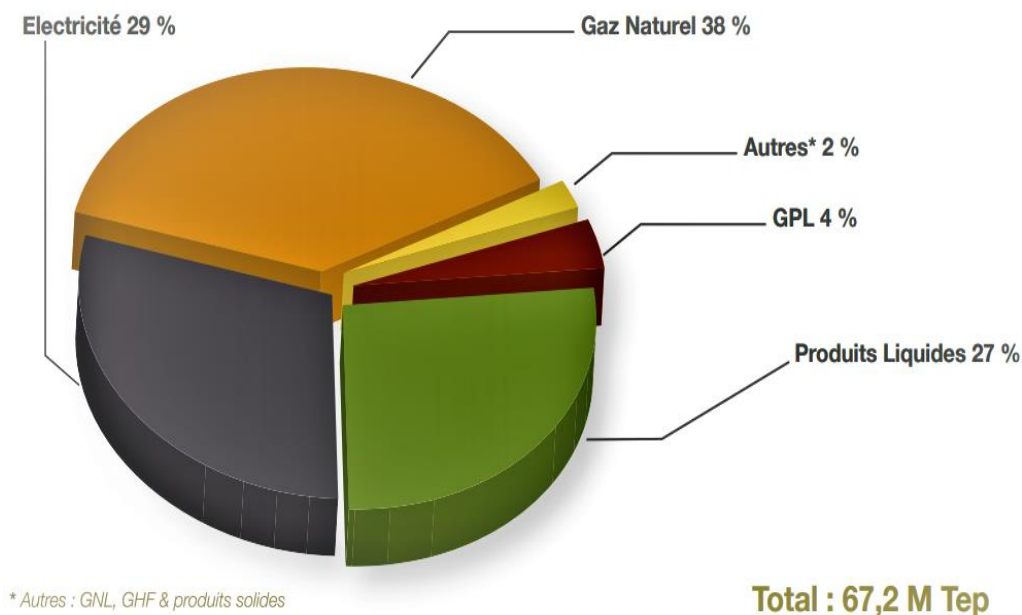


Figure I.10. Graphe sur la structure de la consommation nationale par forme d'énergie. ¹⁴

F. Evolution de la consommation par secteur d'activité.

Par secteur d'activité, la consommation finale de 2021 a été caractérisée par les évolutions suivantes :

- Hausse de la demande du secteur des « Ménages et autres » (6,2%) passant de 22,1 MTep en 2020 à 23,4 MTep en 2021, tirée par le sous-secteur résidentiel (4,4%) et le sous-secteur Tertiaires et autres (12,3%). ¹⁴
- Reprise de (7,6%) de la consommation du secteur des "transports", qui est passée de 13,5 MTep en 2020 à 14,5 MTep en 2021, tirée par celle des carburants terre et aérien ([gasoil 5,1%), (GPL/C 35,8%), essences (1,8%), (jet 15,1%)], en corrélation avec la reprise du transport routier et l'ouverture graduelle de l'espace aérien. ¹⁴
- Hausse appréciable (12%) de la consommation du secteur « Industries et BTP » à 12,2 MTep en 2021, en rapport avec la reprise de l'activité économique, tirée notamment par les sous-secteurs ISMME, industries Agroalimentaires, Chimie et matériaux de construction. ¹⁴

Le détail de la consommation finale par secteur d'activité, est donné ci-après :

Unité : K Tep	2020	2021	Evolution	
			Quantité	(%)
Industrie et BTP, dont :	10 911	12 220	1 309	12,0
- Matériaux de construction	4 768	4 887	120	2,5
- ISMME	1 942	2 586	644	33,2
- BTP	605	619	14	2,3
Industries Manufacturières :	1 252	1 321	68	5,5
Dont : industries Agroalimentaires	1 128	1 185	57	5,1
- Chimie	409	851	442	108,2
- Autres industries	1 935	1 956	22	1,1
Transport, dont :	13 499	14 520	1 021	7,6
- Routier	12 847	13 764	917	7,1
- Aérien	214	246	32	15,0
Ménages et autres, dont :	22 056	23 431	1 375	6,2
- Résidentiel	17 299	18 053	754	4,4
- Agriculture	565	672	107	18,8
- Tertiaires et autres	4 192	4 706	515	12,3
Total	46 466	50 171	3 705	8,0

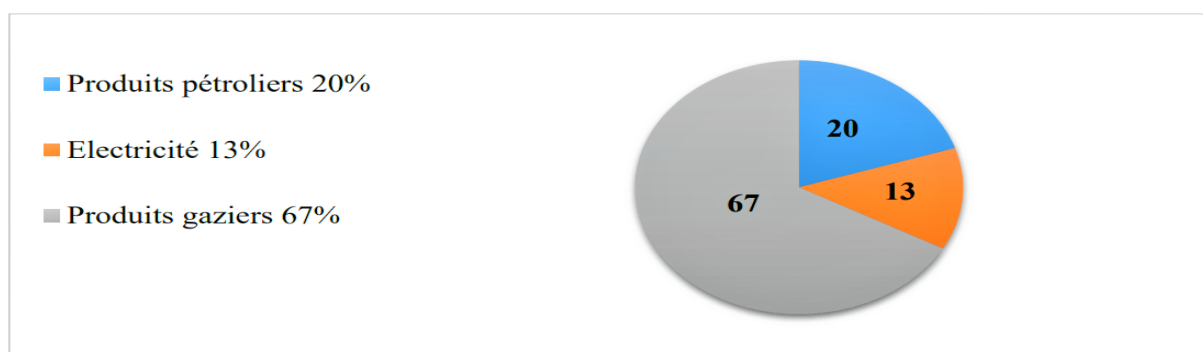
Figure I.11. Consommation finale par Secteur. ¹⁴

La structure de la consommation finale reste dominée par le secteur des « Ménages & autres » (47%), suivi par le secteur du transport (29%) et enfin le secteur de « l'industrie et BTP » avec une part de 24%. ¹⁴

I.3.3.3 La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel

En Algérie le parc de logement est estimé à 5'745'645 unités, dont 62% est urbain et une moyenne d'occupation de 6 personnes par foyer.

D'après les statistiques de l'année 2010 la consommation finale du secteur résidentiel en Algérie a franchi les 8.9 millions de TEP. ¹⁵

Figure I.12. Consommation du secteur résidentiel en Algérie en 2005. ¹⁵

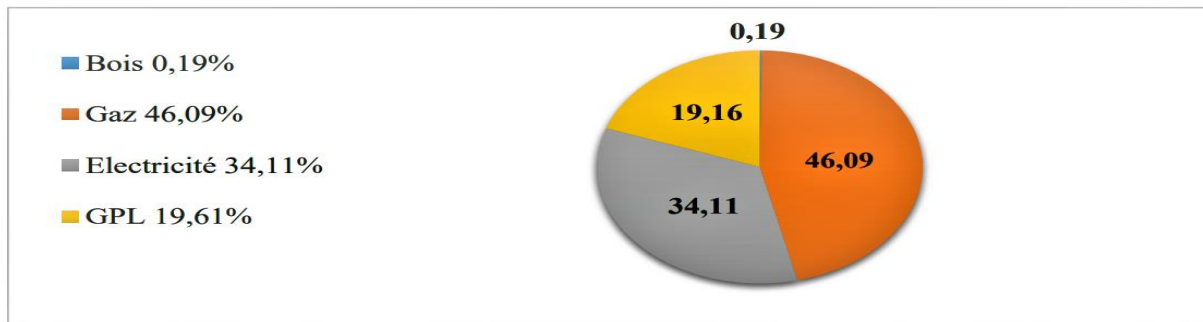


Figure I.13. Consommation du secteur résidentiel en Algérie en 2010. ¹⁵

Les deux figures précédentes (figure I.13 et figure I.12) représentent les principaux types d'énergie utilisée dans le secteur résidentiel. En 2005, à leurs têtes les produits gaziers avec 67% alors qu'en 2010 la consommation des produits gaziers baissent à 65.88% suivis des produits pétroliers avec 20% en 2005 et vont complètement disparaître des énergies consommées dans le résidentiel au profit de l'électricité qui atteint 13% en 2005 pour culminer à 34.11% soit **262%** d'augmentation en à peine 5 ans. Il est essentiel de rappeler que le gaz est la principale ressource utilisée pour la production électrique, dans ce cas la part du gaz frôle les 100% dans le secteur résidentiel. Loin de s'équilibrer le bilan énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie est devenu dépendant complètement au gaz, cette dépendance est le signe de sa fragilité et vulnérabilité. ¹⁵

I.4 Les fenêtres

I.4.1 Généralités sur les Fenêtres

I.4.1.1 Définition

Baie comportant une fermeture vitrée, pratiquée dans un mur d'un bâtiment pour permettre l'entrée de la lumière, la vision vers l'extérieur et, habituellement, l'aération. ¹⁸

Sa existe plusieurs types de fenêtre comme : la fenêtre coulissante, pivotante, oscillo-battante. ¹⁹



Figure I.14. une fenêtre ouverte. ²⁰

I.4.2 Les composants de la fenêtre.

I.4.2.1 Cadre et châssis.

Le cadre et le châssis constituent en général le tiers de la surface totale des fenêtres, d'où la nécessité d'utiliser un matériau résistant et idéalement isolant pour permettre un entretien facile, prolonger la durée de vie et minimiser les déperditions de chaleur. ²²

Il y a plusieurs types de châssis et parmi ces types on a :

- Le châssis en bois.

« Les avantages du châssis en bois sont :

- Thermiquement performant.
- Traditionnel dans nos régions.
- Produit naturel (si bien géré).
- S'adapte facilement à des formes complexes.
- Relativement stable au feu.
- Relativement résistant à l'effraction.

L'inconvénient du châssis en bois est :

- La Nécessité d'un entretien périodique. » ²³

- Le châssis en aluminium.

« Les avantages du châssis en aluminium sont :

- Bonne résistance mécanique.
- Bonne résistance à l'effraction.
- Facile à entretenir.

Les inconvénients du châssis en aluminium sont :

- Thermiquement moins performant que le bois.
- Faible résistance au feu. » ²³

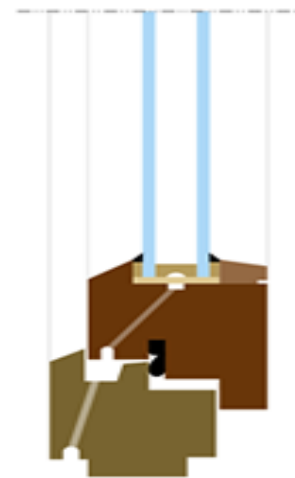


Figure I.15. Le châssis en bois. ²³



Figure I.16. Le châssis en aluminium. ²³

- Le châssis en PVC.

« Les avantages du châssis en PVC sont :

- Thermiquement performant.
- Entretien très facile.

Les inconvénients du châssis en PVC sont :

- Produit synthétique contenant du chlore.
- Dilatation thermique importante.
- Faible résistance au feu.
- Faible résistance à l'effraction »²³

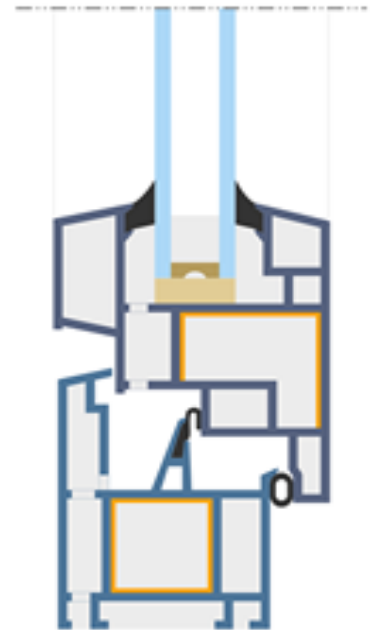


Figure I.17. Le châssis en PVC.

I.4.2.2 Le vitrage de fenêtre

Le vitrage est un moyen simple de laisser passer le plus de lumière naturelle possible afin de réduire le recours à un éclairage artificiel durant la journée. Sans pour cela entraîner des problèmes d'éblouissement, l'utilisation de la lumière naturelle peut ainsi être optimisée. Le vitrage doit contrôler le rayonnement entrant d'une part, pour limiter ou d'éviter les dépenses en énergie de refroidissement en été. Cela implique que l'excès des apports solaires peut provoquer une surchauffe des locaux et donc l'inconfort des habitants qui auront alors tendance à recourir à la climatisation. D'autre part, il faut cependant veiller à ne pas trop limiter les apports solaires afin de pouvoir encore bénéficier de cette énergie gratuite en hiver.²⁴

On trouve plusieurs types de vitrage et parmi ces types on a :

- Simple vitrage

Ce type de vitrage n'est composé que d'une simple feuille de verre. Il n'est plus placé dans les nouvelles constructions, mais vous le trouvez encore souvent dans les maisons anciennes.²⁵



Figure I.18.simple vitrage.²⁴

- **Double vitrage**

Un double vitrage ou thermos double est un élément de paroi vitrée constituée de deux vitres séparées par une épaisseur d'air immobile, dite « lame d'air ». Une variante, le vitrage à isolation renforcée, est rendu encore plus performante par l'ajout d'un traitement isolant sur une (ou plusieurs) des faces intérieures du double vitrage. ²⁶

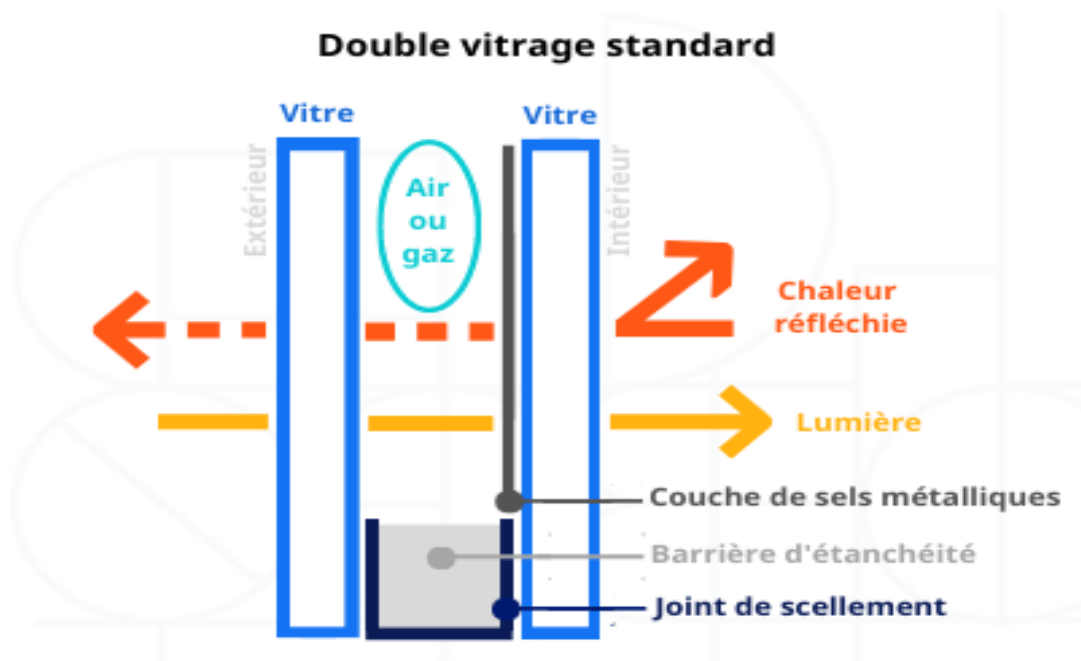


Figure I.19.: Double vitrage.²⁷

- **Triple vitrage**

Ce vitrage consiste à améliorer le pouvoir isolant en ajoutant une troisième plaque de verre séparé par deux espaces d'air ou le gaz que l'on aperçoit sur la figure 20. Il s'agit aussi d'une augmentation de l'épaisseur totale et du poids du vitrage. En outre les transmissions solaire et lumineuse diminuent.²⁴

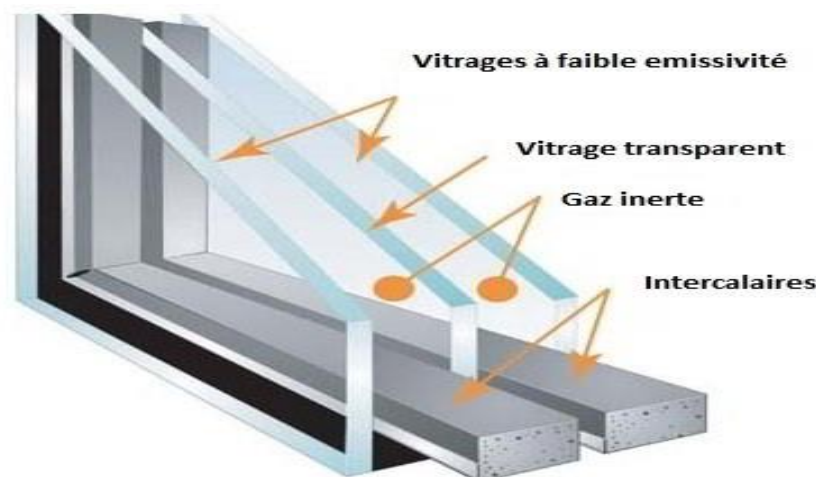


Figure I.20. Triple vitrage.²⁸

I.4.3 Les types d'ouverture des fenêtres.

- Fenêtres à pivot à axe vertical.

Les fenêtres à pivot à axe vertical correspondent aux fenêtres à ouverture à la française, à l'anglaise ou pivotante. Celle à la française, à un ou deux battants, est le modèle le plus courant en France. Son ouverture se fait vers l'intérieur grâce à une crémone verticale. La fenêtre à ouverture à l'anglaise est à ouverture vers l'extérieur. Son atout principal est de ne pas prendre de place à l'intérieur de la pièce.¹⁶

- Fenêtres à pivot à axe horizontal.

La fenêtre basculante s'ouvre en basculant en haut vers l'intérieur et en bas vers l'extérieur. Elle gagne sur la surface habitable et est principalement utilisée en toiture. La particularité de cette fenêtre est qu'elle ne s'ouvre jamais complètement.¹⁶

- Les coulissants.

Ce type de fenêtre correspond aux fenêtres coulissantes et à guillotine. La fenêtre à guillotine permet une ouverture par glissement vertical de haut en bas d'une partie seulement de la fenêtre.¹⁶

- Fenêtres en accordéon.

Les ouvrants sont rendus solidaires par des articulations verticales. Ils sont guidés horizontalement par le dormant et se replient en accordéon.¹⁶

- Fenêtres à jalousie.

La fenêtre à jalousie est caractérisée par un système de volet (en verre ou bois...) à lamelles orientables. Elle permet de voir depuis l'intérieur de la maison sans être vu de l'extérieur. Elle permet également de ventiler la pièce et d'ouvrir son habitat vers l'extérieur tout en évitant l'intrusion de pluie, d'animaux.¹⁶

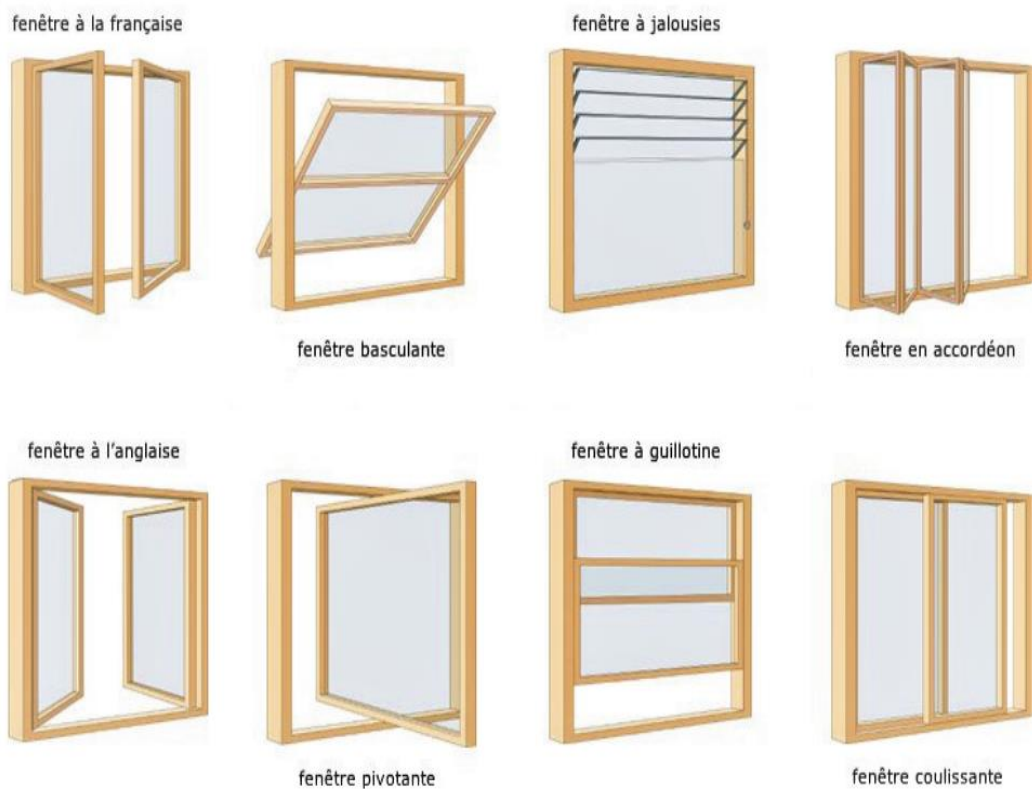


Figure I.21. Principaux types d'ouverture de fenêtres.

16

I.4.4 Transfert thermique dans une fenêtre.

Les échanges thermiques entre une fenêtre et son environnement se font suivant les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement). La Figure 22 présente les différents transferts à travers et au sein d'une fenêtre en condition hivernale (température d'air extérieur inférieure à celle de l'intérieur).²⁴

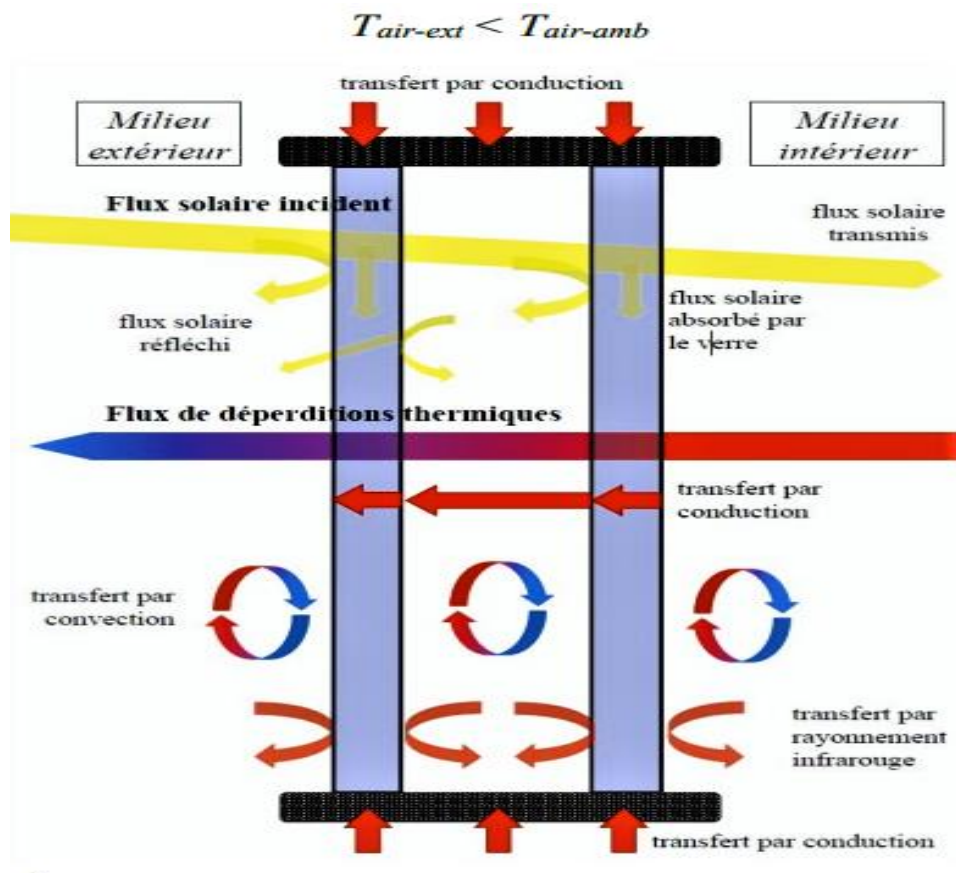


Figure I.22.Échanges thermiques à travers et au sein d'une fenêtre à double vitrage en condition hivernale¹⁶

La conduction thermique intervient dans les vitres en verre et le châssis ainsi que dans l'intervalle entre les deux vitres si le fluide emprisonné est au repos. La convection thermique intervient à la surface des vitres, côtés intérieur et extérieur de la fenêtre, et également entre les faces internes du vitrage si le fluide emprisonné est en mouvement. Le rayonnement thermique quant à lui intervient à la surface de toutes les faces des vitres constituant le vitrage, ainsi qu'à la surface du cadre de la fenêtre. L'amélioration de la performance énergétique d'une fenêtre consiste à limiter les flux de chaleur la traversant et à valoriser les apports solaires. Il est

également nécessaire d'assurer l'étanchéité à l'air au sein de la fenêtre, en particulier entre l'ouvrant et le dormant et entre ce dernier et la paroi opaque dans laquelle la fenêtre est intégrée.¹⁶

I.5 LA VENTILATION DANS LES BATIMENTS

La ventilation d'un bâtiment est l'introduction intentionnelle d'air neuf extérieur dans ses pièces. Son objectif est de renouveler l'air intérieur et de contrôler sa qualité par la dilution et l'évacuation des polluants intérieurs. La ventilation peut également contribuer au confort thermique par ajustement du débit d'air et de la température de l'air introduit. Nous avons mentionné dans la section 1.2 que les déperditions dues à l'introduction d'air neuf et aux défauts d'étanchéité représentent de 20 à 25 % des pertes thermiques d'une maison peu isolée et 19 % pour une maison passive. Il est donc nécessaire de limiter ces déperditions thermiques tout en assurant une bonne qualité d'air intérieur. Dans cette section, nous présentons des types et des techniques de ventilation, et nous proposons une discussion quant au rôle de la ventilation en termes d'amélioration de la qualité d'air intérieur (QAI).¹⁶

I.5.1 Les types de ventilations :

I.5.1.1 La ventilation naturelle

La ventilation naturelle est l'introduction de l'air dans le bâtiment par des ouvertures dans l'enveloppe telles que les fenêtres et les portes. Elle ne nécessite pas de système mécanique pour générer le déplacement de l'air. Elle est due à la pression du vent et à la différence de température (effet cheminée). L'air extérieur pénètre par des entrées d'air situées dans les pièces de vie puis circule dans tout le logement à travers des grilles de transfert ou sous les portes. L'air vicié est extrait du logement par des conduits de tirage naturel installés dans les pièces de service (cuisine, WC, salle de bain) coiffés d'extracteurs statiques (sans ventilateur mécanique).¹⁶

I.5.1.2 La ventilation mécanique contrôlée

La ventilation mécanique contrôlée (VMC) est un dispositif mécanique destiné à assurer le renouvellement permanent de l'air à l'intérieur des pièces. On peut distinguer deux types de VMC : la VMC simple flux et la VMC double flux. Elle nécessite l'utilisation de ventilateurs pour extraire l'air du bâtiment et/ou l'introduire en créant une différence de pression entre l'espace à ventiler et l'extérieur.¹⁶

G. Ventilation mécanique contrôlée simple flux

Le fonctionnement d'une VMC simple flux repose sur l'utilisation d'un extracteur mécanique généralement situé dans les combles et qui permet de créer une dépression dans la maison. L'air neuf entre dans le bâtiment via des bouches d'entrées d'air situées dans les pièces principales. L'air vicié (humide et pollué) est extrait par les bouches d'extraction situées dans les pièces de service (cuisine, salle de bain, WC...) et est ensuite évacué vers l'extérieur par des gaines et une sortie généralement située en toiture (Figure I.23).¹⁶

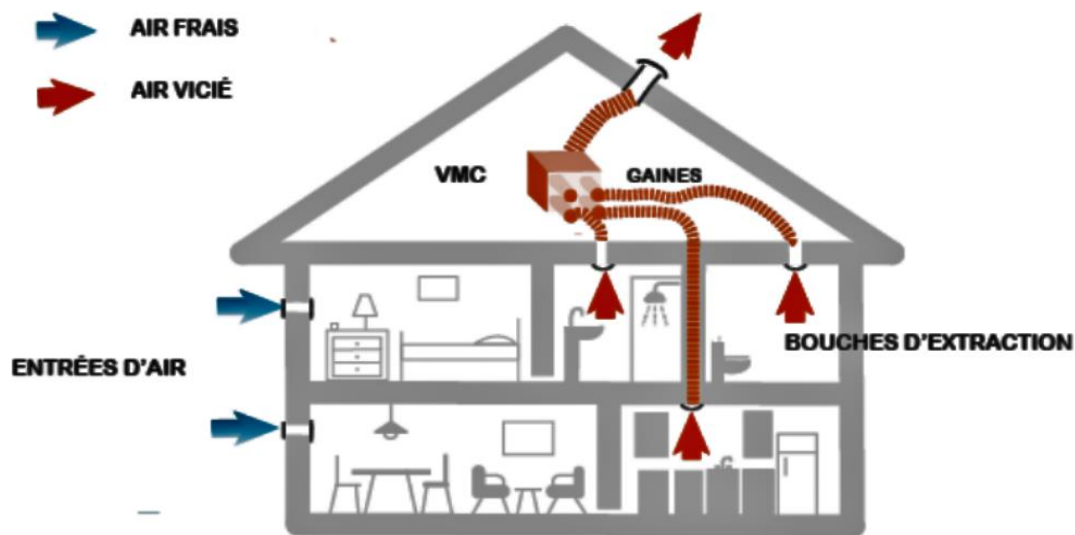


Figure I.23.Principe d'une VMC simple flux.¹⁶

H. Ventilation mécanique contrôlée double flux

Un système de ventilation double flux est composé d'un échangeur thermique et de deux réseaux de gaines distincts, chacun doté de son propre ventilateur. Le premier réseau de gaines insuffle l'air neuf dans les pièces de vie (salon, chambres...), tandis que le second extrait l'air vicié des pièces de services (cuisine, salle de bain, WC...) vers l'extérieur du bâtiment. Le rôle de l'échangeur thermique est de récupérer la chaleur de l'air extrait pour la transférer à l'air entrant (Figure 2). Pour ce type de ventilation, le débit d'air peut être contrôlé en fonction de l'hygrométrie, pareil au VMC simple flux hygroréglable.

Le système de ventilation double flux peut également être couplé à une pompe à chaleur. Cette « ventilation double flux thermodynamique » permet, en plus d'assurer le renouvellement d'air

Chapitre I

Contexte énergétique et état de l'Art

intérieur, de chauffer l'air entrant, ou de le refroidir, voire même de produire de l'eau chaude par la récupération de l'énergie contenue dans l'air extrait. ¹⁶

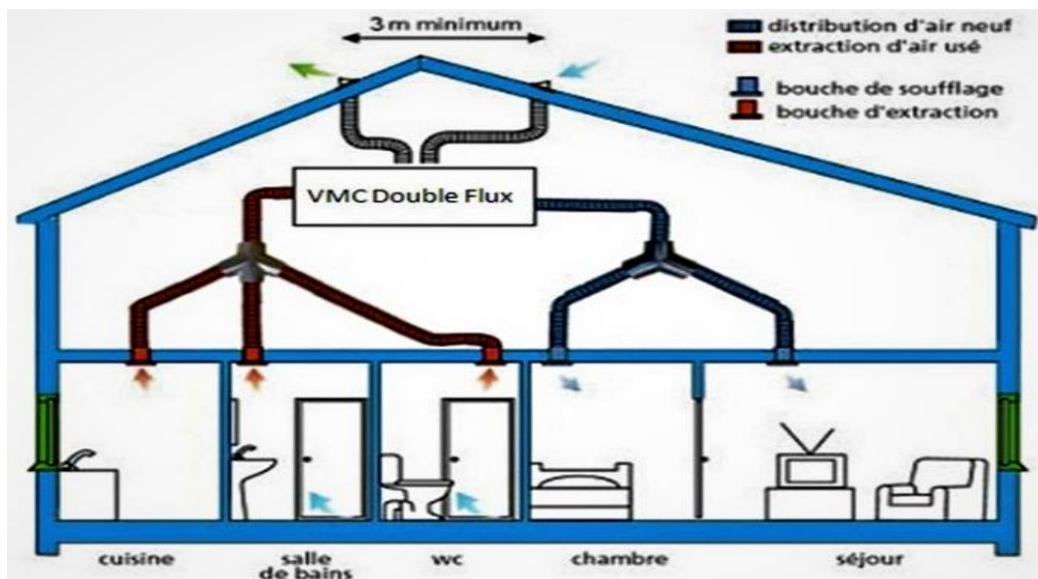


Figure I.24.Principe de fonctionnement de la VMC double flux. ¹⁶

À noter que, lorsque les températures sont très basses (négatives), l'échangeur thermique peut givrer ce qui peut colmater les canaux et donc réduire le débit d'entrée d'air. Une solution est de réaliser un préchauffage de l'air entrant à l'aide d'un puits canadien ou d'un panneau solaire aéralique.

La VMC double flux est donc une solution pour réduire les déperditions thermiques dues au renouvellement d'air sanitaire. Cependant, elle est adaptée aux bâtiments neufs (prévue à la construction), mais est plus compliquée à mettre en œuvre dans un bâtiment existant dans le cadre d'une réhabilitation énergétique (passage des réseaux de gaines). ¹⁶

I.5.1.3 La ventilation hybride

La ventilation hybride consiste à combiner la ventilation naturelle et mécanique. Cette stratégie de ventilation nécessite donc un système de contrôle gérant notamment le passage d'un mode de ventilation à l'autre afin de minimiser les dépenses énergétiques et de fournir une bonne qualité des ambiances intérieures. On distingue trois types de ventilation hybride

- La ventilation naturelle assistée : il s'agit d'un système de ventilation naturelle assisté par un ou plusieurs ventilateurs à basse pression fonctionnant en extraction ou insufflation. Les ventilateurs se déclenchent lorsque les forces du tirage thermique et du vent ne sont pas suffisantes pour assurer les débits d'air requis.

- La ventilation mécanique assistée : le système est constitué d'un système de ventilation mécanique avec des ventilateurs extracteurs basse pression. Le tirage thermique et la pression du vent sont utilisés pour compenser les débits d'air limités des ventilateurs basse pression.
- L'alternance de la ventilation naturelle et de la ventilation mécanique : les deux systèmes de ventilation sont alors complètement dissociés et fonctionnent en alternance.

Ces systèmes intelligents sont par conséquent plus compliqués à mettre en place, souvent plus volumineux mais aussi plus coûteux en investissement qu'un système VMC. Les réglementations incendie et acoustiques peuvent être des freins à l'utilisation de la ventilation hybride, notamment dans le cas d'un relais à une ouverture en façade en zone urbaine. Enfin, il existe des risques de court-circuit concernant la circulation de l'air dans le local avec ce système.⁸

I.5.2 Mode de ventilation

Le mode de ventilation du canal fait référence à l'origine et à la destination de l'air circulant entre le verre et la protection solaire. Le mode de ventilation est indépendant du type de ventilation. À un instant donné, une façade à double peau est caractérisée par un seul mode de ventilation. Cependant, une façade peut adopter plusieurs modes de ventilation à différents moments selon certains composants intégrés, (par exemple en cas de présence d'ouvrants orientables). L'écoulement de l'air du canal se fait entre deux ouvertures, une en partie basse, et l'autre en partie haute, Figure I.4. Les ouvertures basses et hautes peuvent alors s'orienter vers l'intérieur (c'est-à-dire vers le bâtiment) ou l'extérieur, définissant ainsi 4 principaux modes de ventilation :

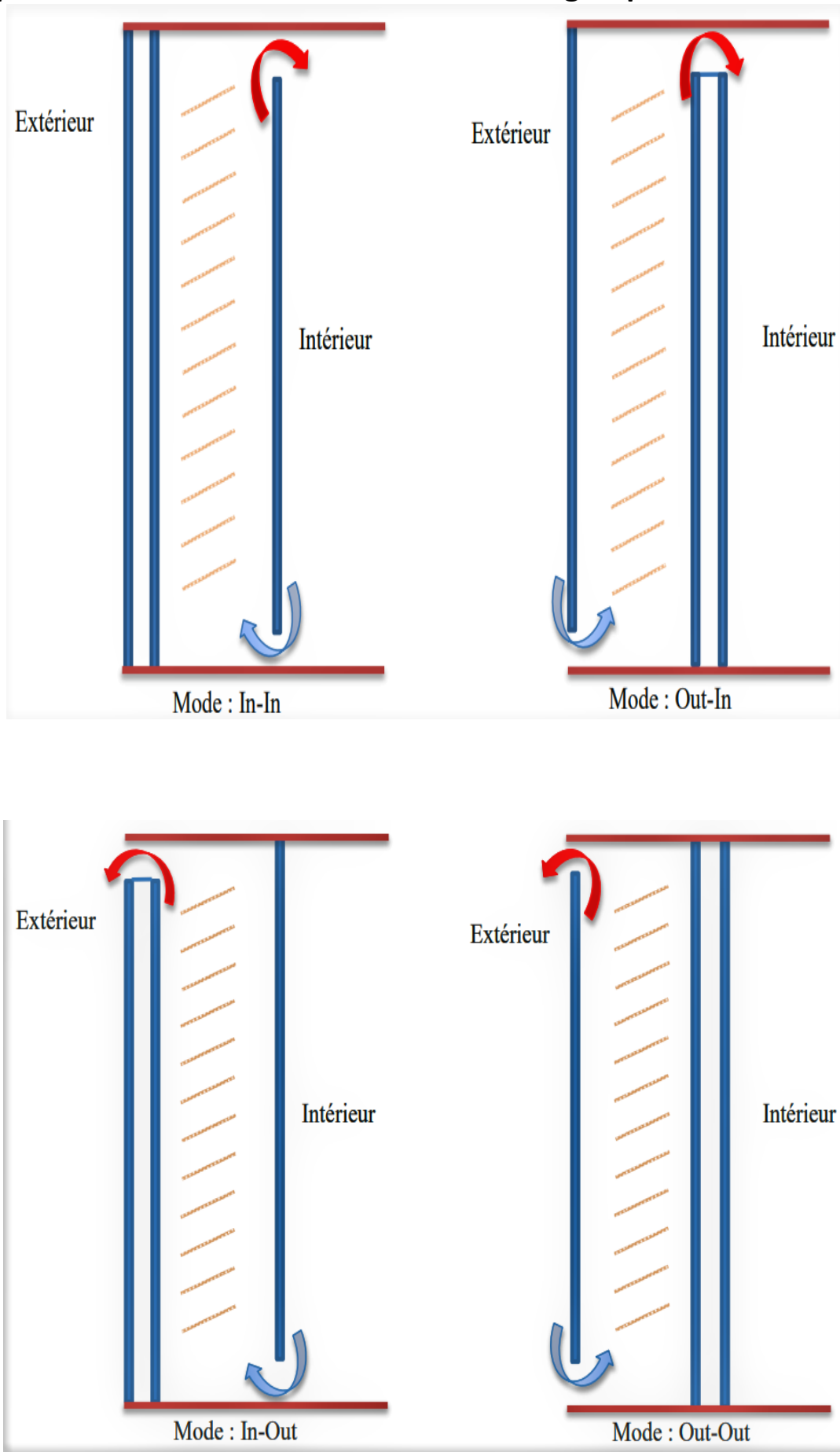


Figure I.25. Différents modes de ventilation. 17

- **Le mode Out-Out (Rideau d'air extérieur)**

Dans ce mode de ventilation, l'air introduit entre la protection et le verre provient de l'extérieur et est directement rejeté vers l'extérieur. La ventilation d'espace entre la protection et le verre forme de ce fait un rideau d'air enveloppant la façade extérieure. ¹⁷

- **Le mode In-In (Rideau d'air intérieur)**

L'air provient de l'intérieur du local est repris vers l'intérieur du local, la ventilation entre la protection et le verre forme de ce fait un rideau d'air enveloppant la façade intérieure. ¹⁷

- **Le mode Out-In (Alimentation en air)**

La ventilation de la façade est réalisée avec de l'air extérieur. Cet air est ensuite amené vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation. La ventilation de la façade permet ainsi d'alimenter le bâtiment en air. ¹⁷

- **Le mode In-Out (Evacuation de l'air)**

L'air provient de l'intérieur du local est évacué vers l'extérieur. La ventilation de la façade permet ainsi d'évacuer l'air du bâtiment. ¹⁷

I.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de dresser un état des lieux du contexte énergétique dans le secteur du bâtiment et d'explorer les aspects clés liés au confort thermique, à la consommation d'énergie, aux fenêtres et à la ventilation. Nous avons constaté que l'efficacité énergétique des bâtiments revêt une importance primordiale dans la quête d'un avenir durable, tant sur le plan environnemental que sur le plan économique.

L'optimisation du confort thermique des occupants constitue un objectif fondamental de la conception des bâtiments. Nous avons identifié les paramètres essentiels qui influencent le confort thermique, et il est clair que l'équilibre entre la température, l'humidité et la circulation de l'air est essentiel pour créer des espaces intérieurs agréables et propices au bien-être.

La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel représente une part significative de la demande énergétique globale. La compréhension des ressources énergétiques disponibles, ainsi que des tendances et des défis spécifiques à chaque région, est cruciale pour développer des solutions efficaces et durables. Il est impératif de réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments, tout en recherchant des sources d'énergie renouvelable pour assurer une transition vers un avenir énergétique plus propre.

Les fenêtres et la ventilation jouent un rôle essentiel dans la conception énergétique des bâtiments. Nous avons examiné les différentes composantes des fenêtres, ainsi que leur impact sur le transfert thermique. De plus, nous avons exploré les différentes méthodes de ventilation, en mettant l'accent sur l'importance d'une bonne circulation de l'air pour maintenir la qualité de l'air intérieur et favoriser l'efficacité énergétique.

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'acquérir une vision globale du contexte énergétique et de l'état de l'art dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments. Il constitue une base solide pour notre étude approfondie de l'isolation thermique d'une façade de bâtiment avec double vitrage. En comprenant les enjeux liés au confort thermique, à la consommation d'énergie, aux fenêtres et à la ventilation, nous sommes mieux préparés à aborder les défis spécifiques de notre sujet de recherche et à proposer des recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Chapitre II:

Formulation du

problème

II.1. Introduction

Le chapitre "Formulation du problème" constitue une étape clé de notre étude. L'objectif de ce chapitre est de réaliser la modélisation physique des différents composants de la façade et de prendre en compte les paramètres qui influencent son comportement thermo-aéroulque. En comprenant ces aspects fondamentaux, nous serons en mesure d'évaluer de manière précise et approfondie la performance énergétique de la façade.

Dans notre étude, nous nous concentrons sur une configuration spécifique de DSF, caractérisée par une largeur de 0,236 m et une hauteur de 3 m. Cette configuration comprend un vitrage extérieur simple et un vitrage intérieur double, avec un grand nombre de vénitiennes placées entre les deux types de vitrage. Cette géométrie étudiée nous permettra d'analyser en détail les transferts de chaleur, les échanges d'air et les performances thermiques de la façade.

La modélisation physique de la façade repose sur l'utilisation d'équations fondamentales qui décrivent la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Nous discuterons des différentes équations et des modèles de turbulence qui sont utilisés pour reproduire de manière réaliste le comportement thermo-aéroulque de la DSF.

En outre, nous aborderons également le transfert radiatif, qui joue un rôle crucial dans les échanges de chaleur à travers les composants de la façade. Nous étudierons les interactions entre le rayonnement solaire, la température ambiante et les propriétés des matériaux utilisés, tels que le verre, l'aluminium et l'air.

Enfin, nous explorerons la configuration géométrique de la DSF et les conditions aux limites qui doivent être prises en compte dans notre modélisation. Cela inclut la vitesse et la température de l'air à l'extérieur et à l'intérieur de la façade, ainsi que l'intensité turbulente. De plus, nous examinerons les conditions aux limites radiatives spécifiques aux composants de la façade, tels que le verre, l'aluminium et l'air.

Ce chapitre de "Formulation du problème" établit donc les bases théoriques et physiques nécessaires à notre étude approfondie de l'isolation thermique d'une façade de bâtiment avec double vitrage. En comprenant les différents paramètres et en modélisant adéquatement les composants de la façade, nous serons en mesure de fournir une évaluation précise de la performance énergétique de cette solution architecturale.

II.2. Physique de la DSF

L'objectif de ce chapitre est la modélisation physique des différents des différents composants de la façade.

Les paramètres qui affectent le comportement thermo-aéraulique de la DSF sont le rayonnement solaire, la température de l'air extérieur et intérieur, la vitesse et la direction du vent, les propriétés des matériaux des différents composants de la DSF, le type et la gestion des protections solaires, etc

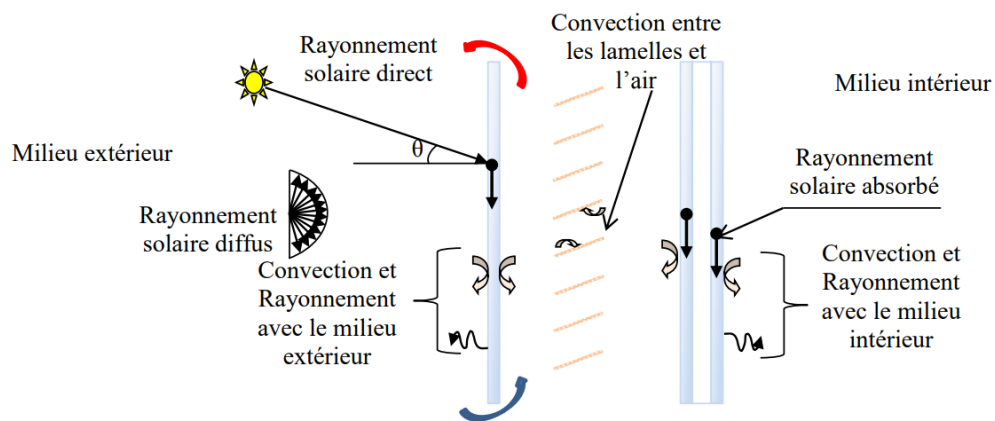


Figure II.1. Différents échanges thermiques.

II.3. Géométrie

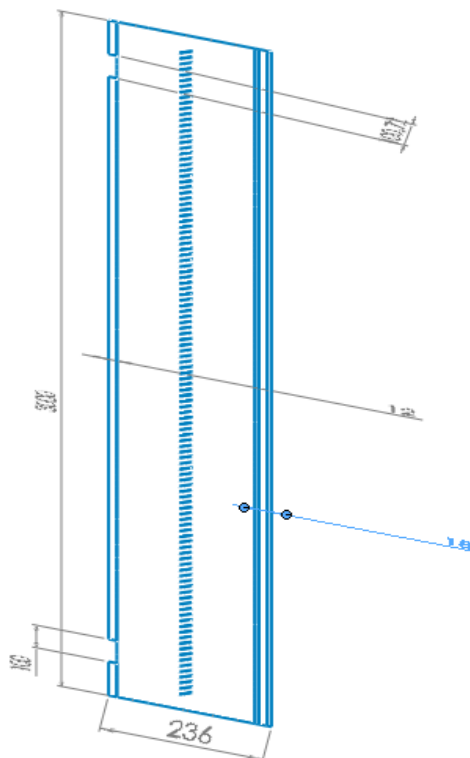


Figure II.2. Géométrie de la façade double peau.

Le domaine physique considéré dans cette étude concerne Une façade à double peau de 3m et de 0.236m de largeur, le vitrage extérieur est un simple vitrage tandis que le vitrage intérieur est un double vitrage. Entre les deux types de vitrage il y a un nombre important de vénitiennes les vénitiennes.

II.4. Equations générales

II.4.1. Equation de la conservation de la masse

L'équation de conservation de la masse, également appelée équation de continuité, est un principe fondamental en mécanique des fluides qui exprime la conservation de la masse lors de l'écoulement d'un fluide.

L'équation de conservation de la masse pour un fluide incompressible s'exprime mathématiquement comme suit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}) = 0 \tag{4}$$

$\frac{\partial \rho}{\partial t}$: terme instationnaire de la variation locale de la masse en fonction du temps

$\nabla(\rho \vec{u})$: variation convective due au champ de vitesses. ²⁹

II.4.2. Equation de la conservation de la quantité de mouvement

L'équation de la conservation de la quantité de mouvement, appelée équation de Navier-Stokes, est une équation fondamentale en mécanique des fluides. Elle décrit comment la quantité de mouvement d'un fluide change au cours du temps en réponse aux forces qui lui sont appliquées. Cette équation pour un écoulement incompressible et stationnaire s'écrit en coordonnées cartésiennes :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \cdot \vec{u} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} \tag{5}$$

$\nabla \cdot \vec{\tau}$: représente la divergence du tenseur des contraintes.

$\vec{\tau}$: Il représente les forces visqueuses agissant sur l'élément fluide. ³⁰

Les équations gouvernantes moyennes de Navier-Stokes qui décrivent le mouvement de l'écoulement sont :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (6)$$

$u = \bar{u} + u'$, \bar{u} est la vitesse moyenne et u' est la vitesse de fluctuation. ³⁰
 $p = \bar{p} + p'$, \bar{p} est la pression moyenne p' est la pression de fluctuation. ³⁰

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right]. \quad (7)$$

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (8)$$

Pour $i=j$ $\delta_{ij} = 1$ et pour $i \neq j$ $\delta_{ij} = 0$ (30)

II.4.3. Le modèle de turbulence

Un modèle de turbulence est une procédure de calcul pour fermer le système d'équations de débit moyen et les résoudre.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \varepsilon. \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \varepsilon). \quad (10)$$

:

$$k = \frac{3}{2} (uI)^2 \quad (11)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (12)$$

Avec $I = 0.16(Re)^{-1/8}$

et $l = 0.07Dh$

II.4.4. Equation de la conservation de l'énergie

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{\rho_r} + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \left(\frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \right] + S \quad (13)$$

S: Terme source

Les constantes empiriques du modèle k-Epsilon sont les suivantes :

$$C_{\mu} = 0.09, \quad C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3, \quad \sigma_T = 0.9 \quad (14)$$

II.5. Transfert radiatif

Le rayonnement thermique est un phénomène physique qui se caractérise par l'émission et l'absorption d'énergie électromagnétique par des corps qui ont une certaine température.

Le rayonnement thermique peut être émis et absorbé par tous les corps, quelle que soit leur composition ou leur état physique.

Le rayonnement thermique est un phénomène se caractérisant par un échange d'énergie électromagnétique, sans que le milieu intermédiaire ne participe nécessairement à cet échange. Il est caractérisé par des longueurs d'ondes comprises entre 0.1µm et 100 µm, il inclut le domaine du visible (ondes lumineuses ou lumière de 0.4µm et 0.8 µm) et n'occupe qu'une faible portion du spectre d'ondes électromagnétiques.

L'ETR est le résultat d'un bilan établi sur un volume élémentaire représentant la conservation de la luminance. Cette dernière est définie comme la grandeur qui représente le flux d'énergie radiative dans la direction $\vec{\Delta}$ par unité de longueur d'onde $d\lambda$ autour de λ , par unité de surface perpendiculaire à $\vec{\tau}$ et par unité d'angle solide $d\Omega$ autour de $\vec{\Delta}$.

l'expression de la luminance spectrale d'une source ponctuelle de lumière, notée $I_{\lambda}(s, \vec{\Delta})$, à une distance s de l'observateur, dans une direction donnée par le vecteur unitaire $\vec{\Delta}$, à une longueur d'onde donnée λ . Cette expression est donnée par la formule suivante :

$$I_{\lambda}(s, \vec{\Delta}) = \frac{dQ}{ds \cdot \cos\theta \cdot d\lambda \cdot d\Omega} \quad (15)$$

où dQ est la quantité d'énergie lumineuse émise dans une direction donnée à une longueur d'onde donnée, ds est l'élément d'aire sur la surface de la source lumineuse, $\cos\theta$ est le cosinus de l'angle entre la normale à la surface de la source et la direction de l'observation, $d\lambda$ est l'élément de longueur d'onde et $d\Omega$ est l'élément de solid angle.

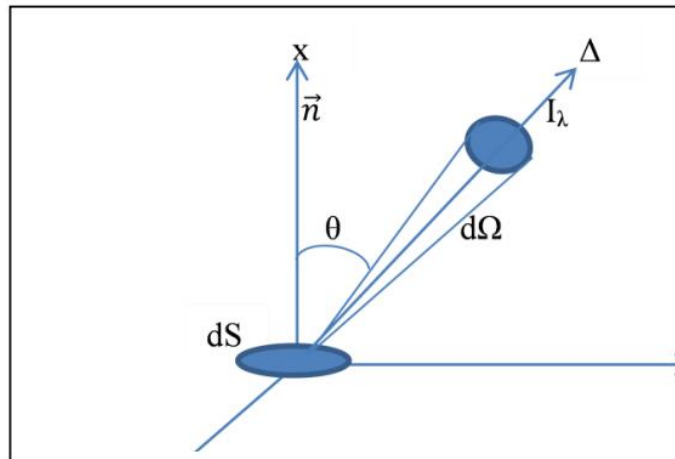


Figure II.3.Représentation de la luminance monochromatique

Pour la modélisation du rayonnement thermique, le code CFD FLUENT propose cinq modèles différents :

- modèle de rayonnement de transfert discret (DTRM),
- modèle de rayonnement P-1,
- modèle de rayonnement de Rosseland,
- modèle de rayonnement surface-tosurface S2S et le
- modèle des ordonnées discrètes DO.

Le choix entre les différents modèles pour la résolution de l'ETR, cités ci-dessus, est basé principalement sur la spécificité des propriétés optiques du verre et la nécessité de résoudre l'ETR, sur deux intervalles spectraux.

Effectivement, la méthode des OD (Ordinate Method) est une approche couramment utilisée pour modéliser des parois semi-transparentes dans le cadre du transfert radiatif. Cette méthode discrétise l'espace en utilisant des directions de rayonnement discrètes, appelées ordonnées, et permet de prendre en compte les interactions radiatives à travers les parois.

II.6. Configuration géométrique et conditions aux limites

La géométrie de la cavité utilisée pour l'étude numérique est donnée sur la figure II.2. Le flux d'air entre dans la cavité entre la première façade (PF) et la seconde façade (SF).

Tableau II.1. Conditions aux limites pour le calcul du GCI, Safer

Conditions aux limites		
Vitesse de l'air		$v = 0.35 - 0.4 - 0.5 \text{ m/s}$
Température de l'air		302 K
Intensité turbulente		6%
Verre extérieur		
Angle d'incidence		67°
Coefficient d'échange hex		$10 \text{ W/m}^2\text{K}$
Coefficient d'échange hex		
Rayonnement solaire	Bande 1 [0.1 μm , 2.7 μm]	819.37 W/m^2
	Composante direct	178.09 W/m^2
	Composante diffus	
	Bande 2 [2.7 μm , 180 μm]	7.98 W/m^2
	Composante direct	0.8 W/m^2
	Composante diffus	
Verre intérieur		
Coefficient d'échange hin		$2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Température ambiante		298 K

II.6.1. Condition aux limites à la sortie

A la sortie du domaine, la condition "Outflow" a été imposée, cette condition est utilisée lorsque on n'a pas d'informations de la vitesse et de la pression, cette condition est appropriée pour les fluides incompressibles et lorsque l'écoulement à la sortie est pleinement développé.

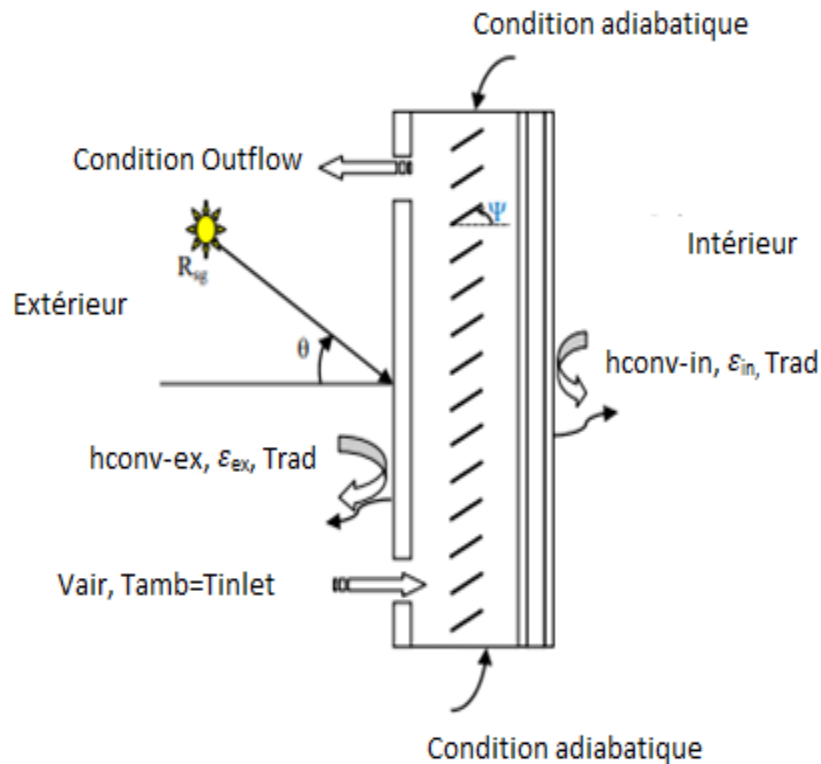


Figure II.4.de calcul et conditions aux limites.

II.6.2. Conditions aux limites radiatives

L'implantation de la méthode des OD, par le code CFD. L'implantation de la méthode des OD (Ordinates Method) est une approche numérique utilisée pour résoudre l'équation du transfert radiatif. Les conditions aux limites radiatives sont appliquées aux frontières du domaine discrétisé.

Pour les propriétés des matériaux, le verre, l'air du canal et du double vitrage ont été considérés comme des milieux semi-transparents. L'aluminium qui est le matériau de la protection solaire est considéré comme un milieu opaque.

Tableau II.2. Propriétés des matériaux

	ρ Kg/m ³	Cp J/kg K	μ kg/ms	λ W/mK	n	α	ε
air	1.225	1006.43	1.789x10 ⁻⁵	0.0243	1.0	0.01	
Verre	2430	840		1.4	1.5	0.11	0.85
Aluminium	2719	871		120			0.15

II.7. Conclusion

En conclusion, ce chapitre "Formulation du problème" a jeté les bases essentielles pour notre étude sur l'isolation thermique d'une façade de bâtiment avec double vitrage. En modélisant physiquement les composants de la façade et en tenant compte des paramètres qui influencent son comportement thermo-aéraulique, nous avons établi une compréhension approfondie de sa physique et de son fonctionnement. Les équations générales formulées, ainsi que les considérations liées au transfert radiatif, nous permettront d'analyser en détail les échanges de chaleur et d'air au sein de la façade. De plus, la configuration géométrique spécifique et les conditions aux limites définies ont été prises en compte pour une modélisation réaliste. Grâce à ces fondements théoriques, nous sommes maintenant prêts à passer à l'étape suivante de notre étude, qui se concentrera sur la création de la géométrie, la simulation et l'évaluation des performances énergétiques de la façade de bâtiment avec double vitrage.

Chapitre III :

Simulation Numérique

III.1. Introduction

Dans ce chapitre intitulé "Simulation Numérique", nous nous concentrons sur l'utilisation de la mécanique des fluides numérique (CFD) comme outil essentiel pour étudier notre géométrie. Nous explorons les principaux aspects liés à la simulation numérique, en mettant l'accent sur les logiciels Gambit et Fluent, ainsi que sur le choix des modèles et des conditions aux limites.

La mécanique des fluides numérique (CFD) est une discipline qui permet de résoudre numériquement les équations fondamentales de la dynamique des fluides pour modéliser et prédire le comportement des fluides dans des systèmes complexes. Nous commençons par définir la CFD et son rôle, en soulignant les domaines d'utilisation de cette technique dans l'industrie.

Nous nous penchons ensuite sur le logiciel Gambit, largement utilisé pour la création de la géométrie et le maillage des modèles CFD. Nous explorons les différentes étapes de création de la géométrie, ainsi que le choix du maillage adapté à notre géométrie d'étude. De plus, nous discutons des conditions aux limites spécifiques à notre géométrie étudiée, qui sont essentielles pour définir les caractéristiques du système à simuler.

Ensuite, nous présentons le logiciel Fluent, qui est l'un des outils les plus couramment utilisés pour la simulation numérique en CFD. Nous abordons les étapes nécessaires pour lancer le logiciel, importer la géométrie créée avec Gambit et choisir les matériaux appropriés pour les différents composants de la façade. Ces étapes sont cruciales pour obtenir des résultats précis et fiables lors de la simulation numérique.

Un aspect important de la simulation numérique est le choix des modèles, qui déterminent la manière dont les équations fondamentales sont résolues et les phénomènes physiques pris en compte. Nous examinons les différents modèles utilisés dans notre étude, en nous concentrant sur les conditions aux limites et le contrôle de la solution.

En conclusion, ce chapitre sur la simulation numérique constitue l'étape la plus essentielle de notre étude. En comprenant les principes de la CFD, en utilisant les logiciels Gambit et Fluent, et en choisissant les modèles appropriés, nous serons en mesure de réaliser des simulations numériques fiables et précises. Ces simulations nous permettront d'analyser en détail les performances thermiques de la façade et d'évaluer l'efficacité de différentes configurations et stratégies d'isolation.

III.2. Définition CFD

La CFD c'est La dynamique des fluides numérique et sa vient du mot anglais : « Computational Fluid Dynamics ». ³²

III.3. Le rôle de CFD

C'est un domaine qui traite la résolution numérique des phénomènes de transport (transfert thermique, turbulence) couplés à la mécanique des fluides (les équations de Navier Stokes) à l'aide d'ordinateurs et sa permet d'évaluer le fonctionnement du produit dans des conditions réalistes, inaccessibles par des tests, rendant son développement plus efficace et garantissant une qualité supérieure. ³²

« Les simulations numériques d'écoulement de fluide va permettent aux :

- Architectes à concevoir des environnements de vie confortables et sûrs.
- Concepteurs de véhicules à améliorer les caractéristiques aérodynamiques.
- Ingénieurs pétroliers à concevoir des stratégies optimales de récupération du pétrole.
- Les experts en sécurité à réduire les risques pour la santé liée aux rayonnements et autres dangers.
- Organisations militaires à développer des armes et estimer les dégâts. »

III.4. Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie

La CFD est utilisée dans plusieurs domaine et parmi ces domaines :

- Aerospace et Aéronautiques.
- Automobile.
- Chauffage, ventilation et climatisation des bâtiments.
- Production d'électricité.
- Circulation du sang dans les veines.
- Circulation de l'air dans les pommeaux.

Cette technologie a permis aux chercheurs de calculer facilement leur efficacité de conception à tout moment et dans toutes les conditions de manière virtuelle. En conséquence, il économise du temps, des efforts et de l'argent. ³²

III.5. Description de Gambit

Gambit c'est un pré-processeur et il nous permet de :

- Construire la géométrie du domaine de calcul ;
- Subdiviser ce dernier en petits volumes de contrôle (maillage) ;
- Définir les conditions aux limites.³²
-

III.5.1. Création de la géométrie

Toute simulation CFD commence par la réalisation de la géométrie en 2D ou 3D, soit avec un logiciel intégré au code de calcul CFD (GAMBIT) soit à l'aide d'un logiciel de CAO. Dans le deuxième cas, la géométrie doit être exportée en un format lisible par le logiciel de maillage. Dans notre cas on a travaillé avec le logiciel GAMBIT.

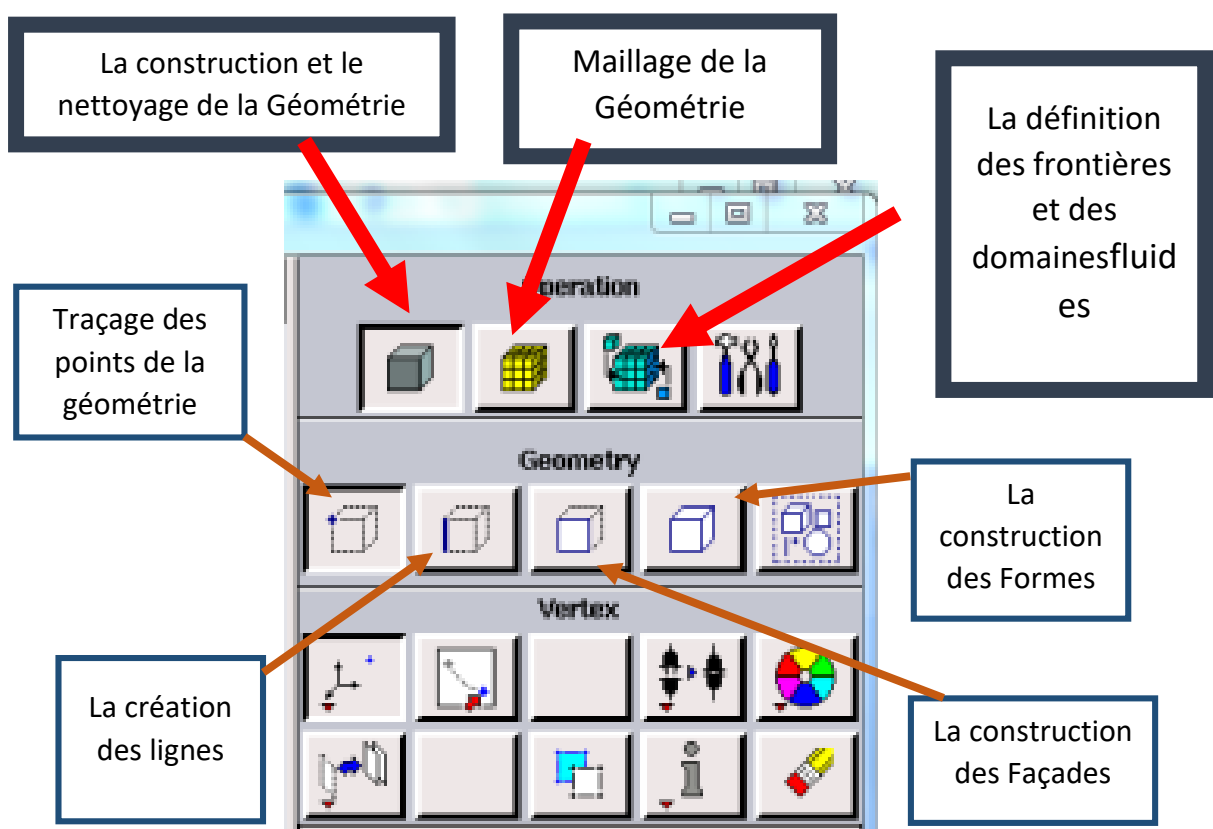


Figure III.1. Les outils utilisés dans la création de la Géométrie.

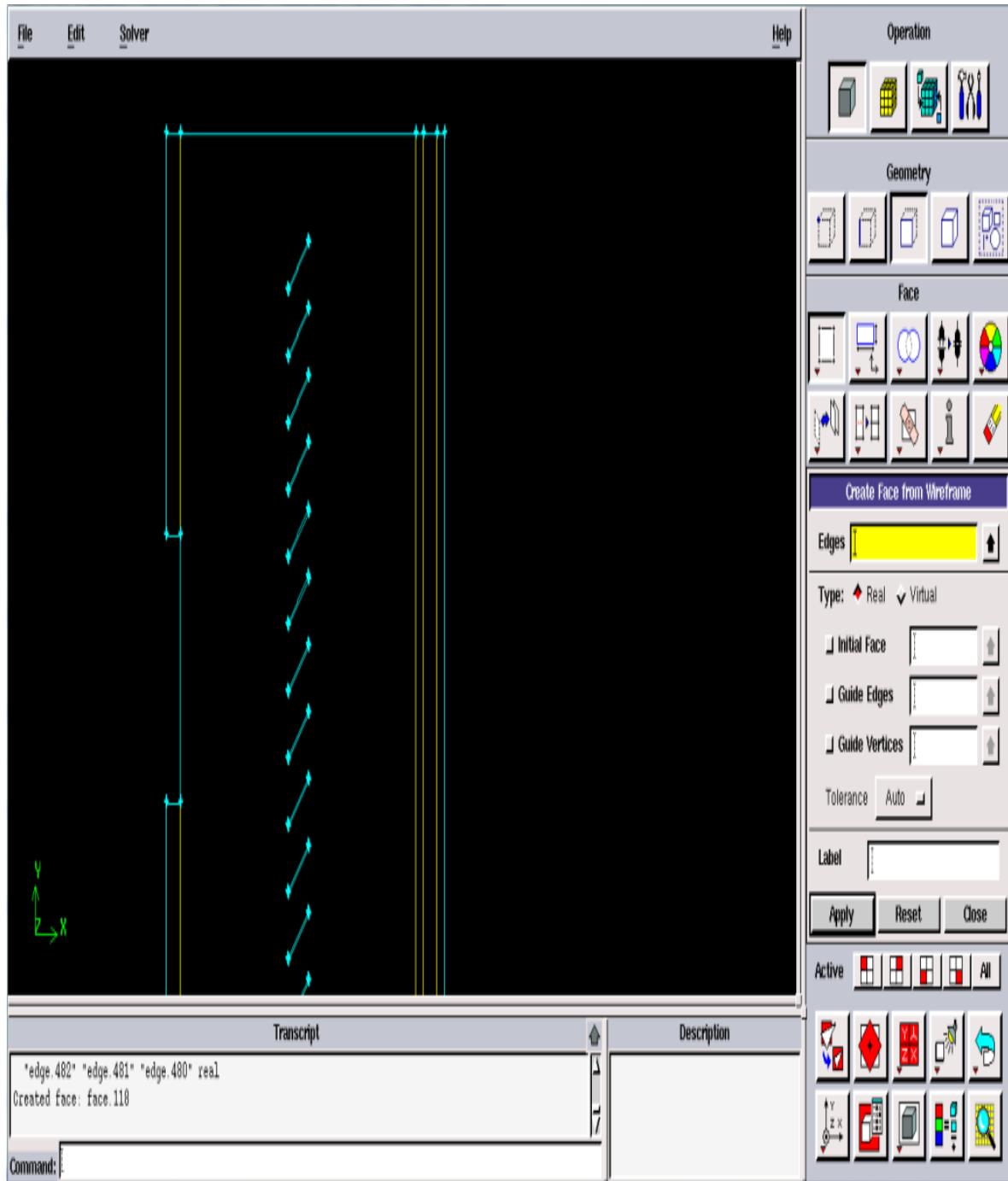


Figure III.2.Création de la géométrie.

III.5.2. Choix de maillage

Dans notre cas on a choisi un maillage structuré de type triangulaire par nombre d'intervalles.
Comme vous voyez dans les figures suivantes :

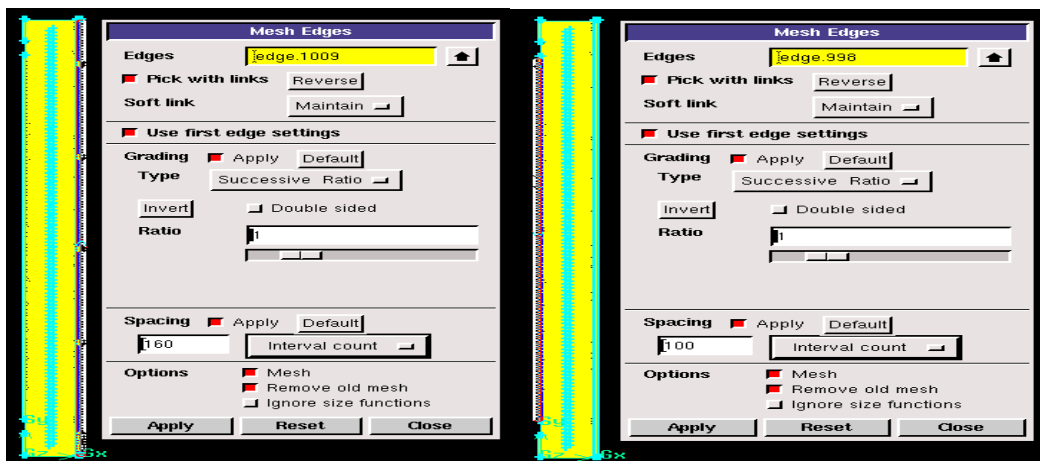
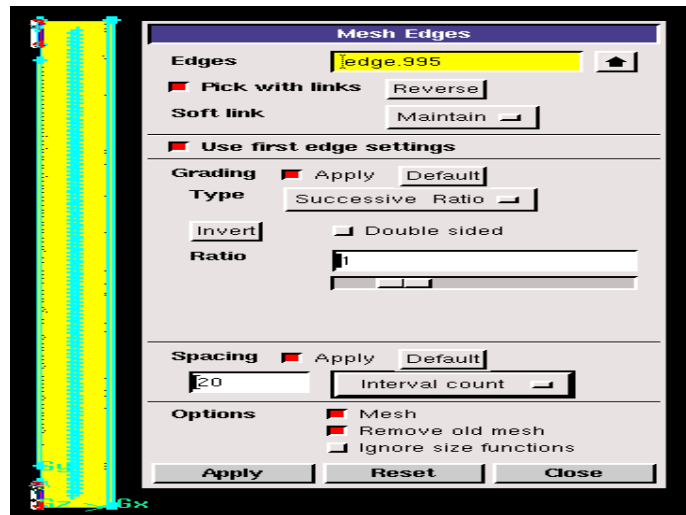


Figure III.3. Maillage des parois extérieures

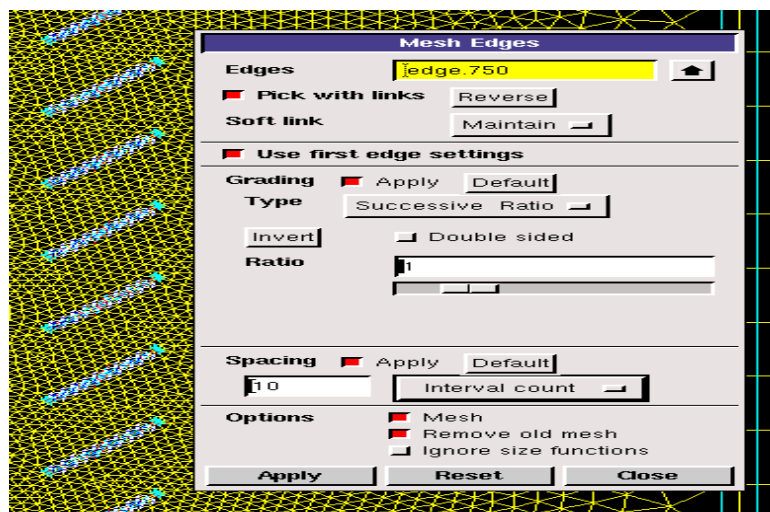


Figure III.4. Maillage des vénétiens

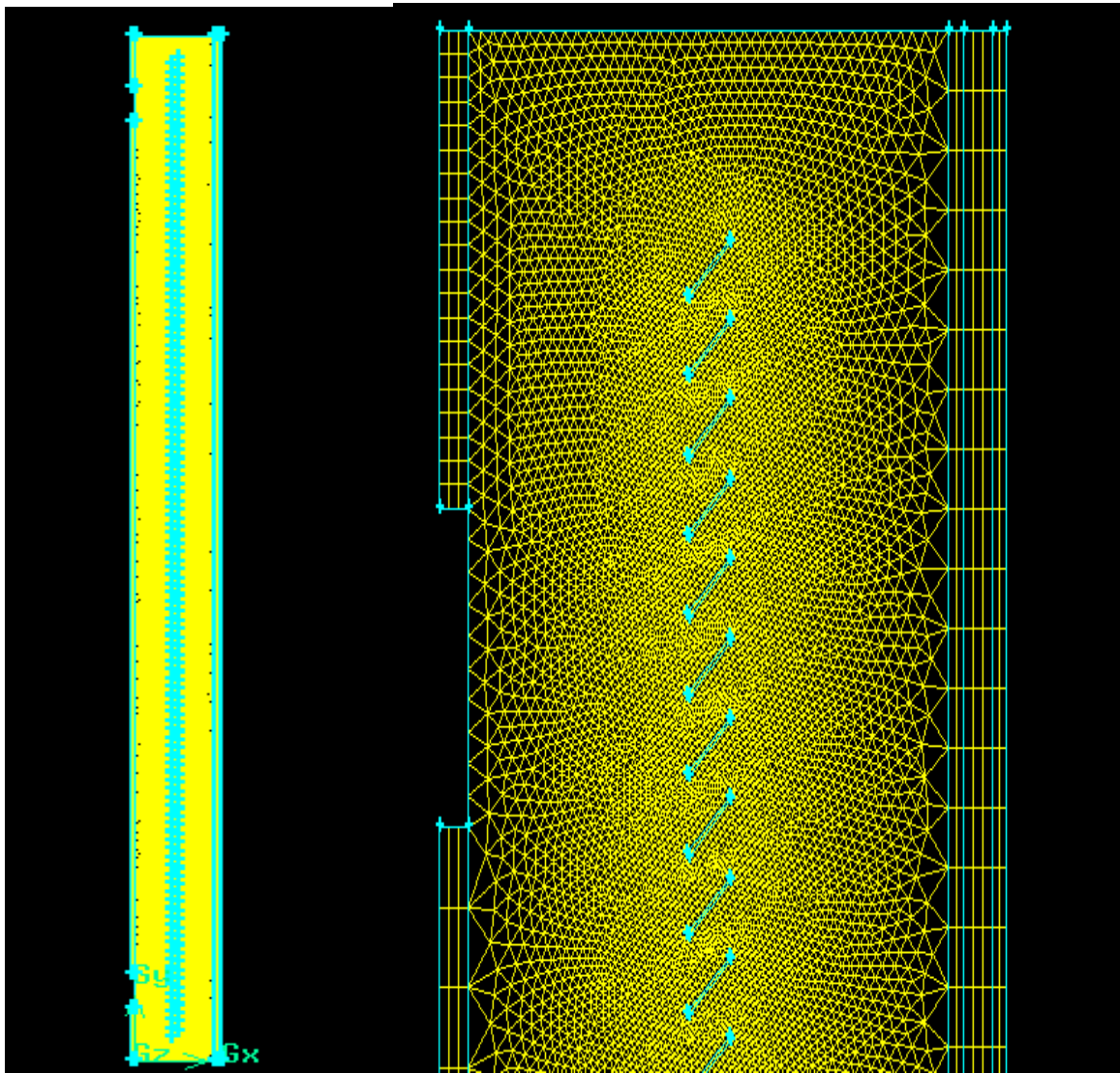


Figure III.5. Le maillage final.

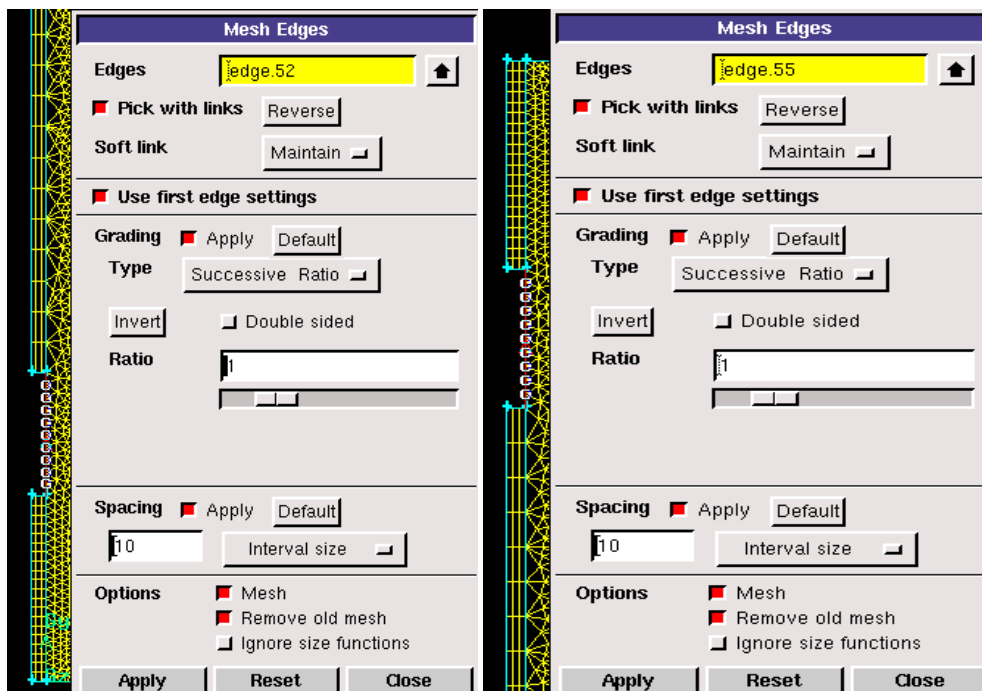


Figure III.6. Maillage dans l'entrée et dans la sortie.

III.5.3. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites des parois extérieures concernent la parois supérieure, intérieur, et aussi les vénitiens

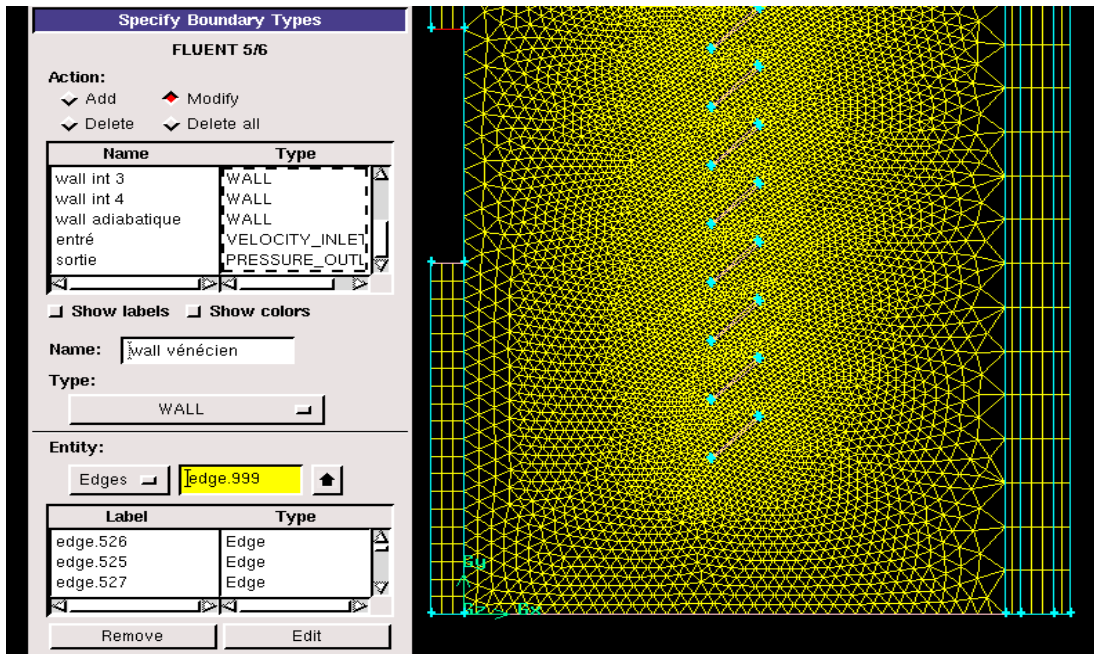


Figure III.7. Les conditions aux limites des Parois en contact avec l'extérieur.

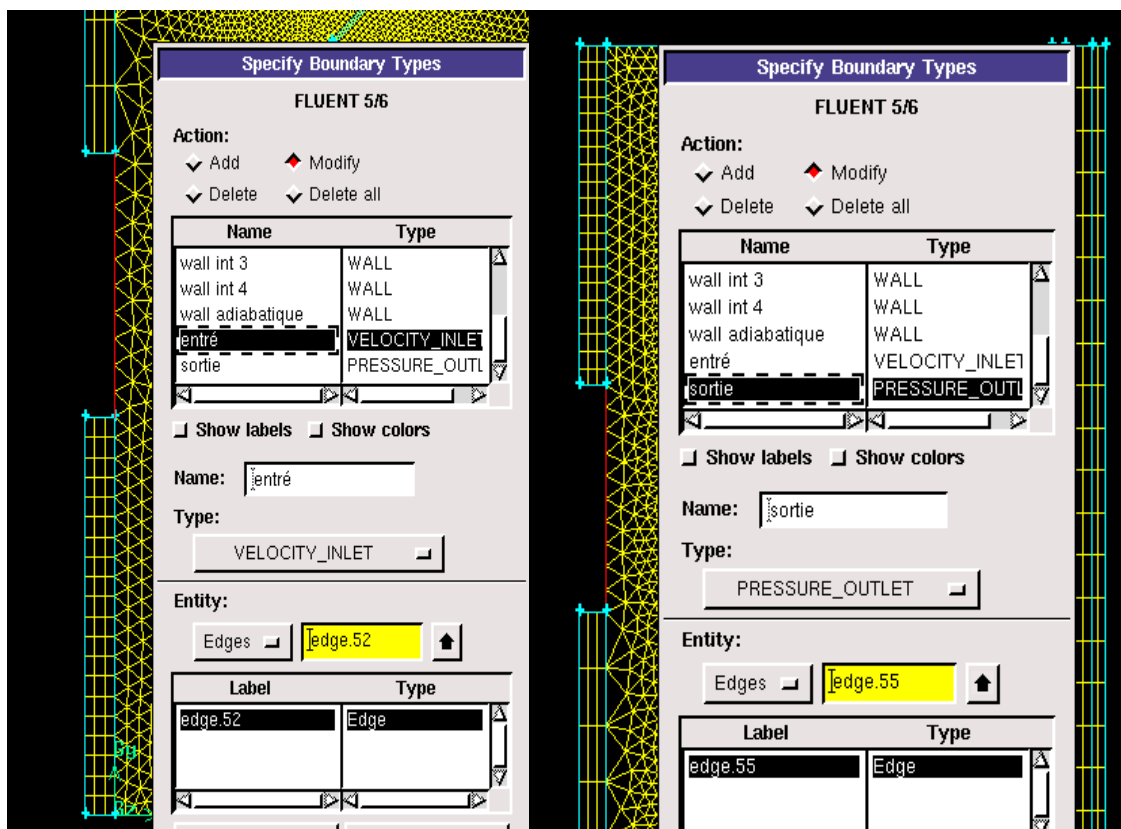


Figure III.8.les conditions aux limite de la sortie et l'entrée.

III.5.4. Exportation du maillage de Gambit

Après la création de la géométrie et les conditions aux limites, on exporte le maillage au Solveur Fluent suivant l'étape : File -export- mesh

Il est nécessaire d'exporter le maillage, en format « Mesh » pour que Fluent soit capable de lire et d'utiliser après enregistrement, comme suit.

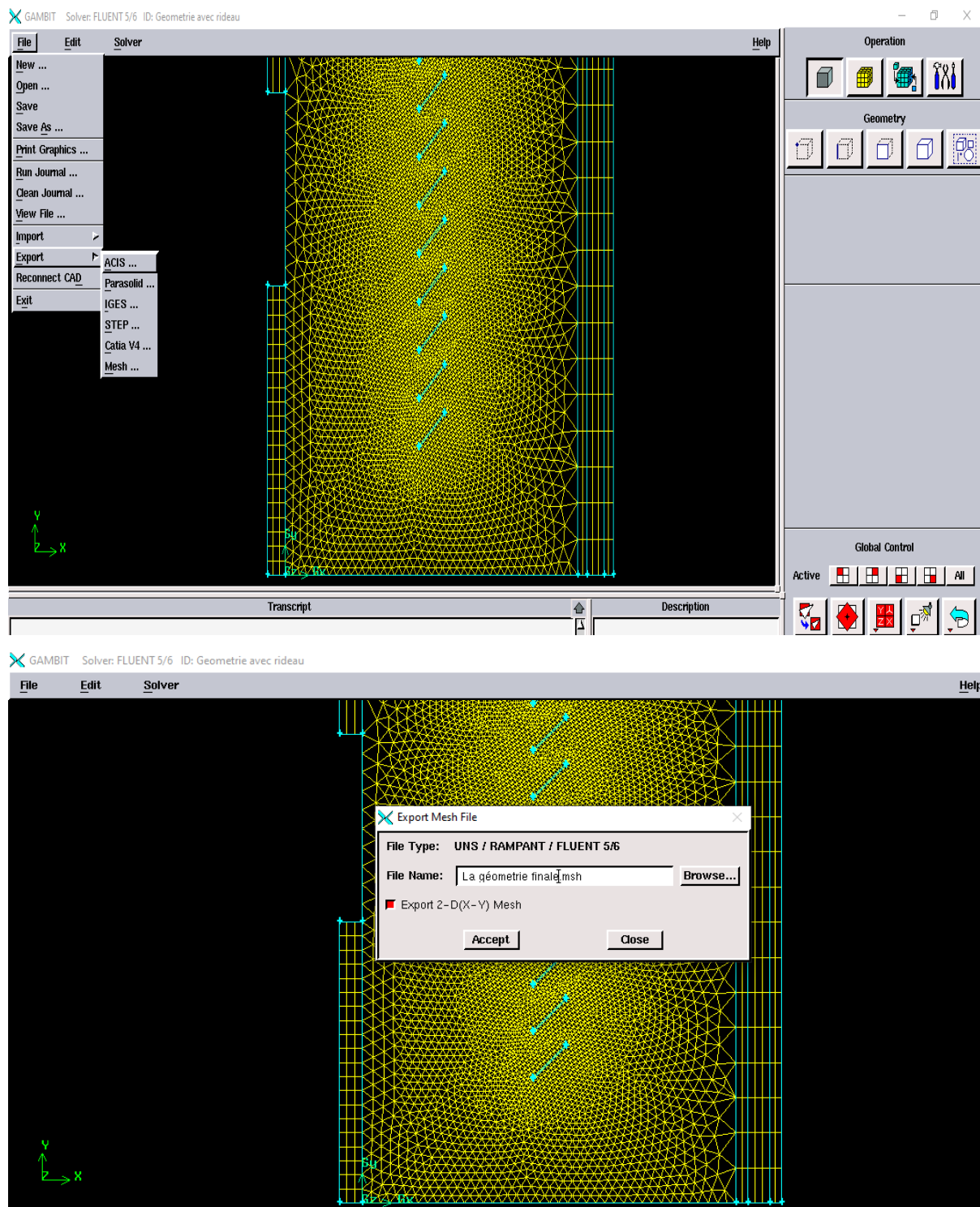


Figure III.9. Exportation du maillage.

III.6. Définition de Fluent

Fluent est un logiciel de calcul de la dynamique des fluides numérique (Computational Fluid Dynamics « CFD »), il comporte deux fonctions :

- **SOLVEUR** : permet de définir numériquement les conditions opératoires (gravité, pression, ...) dans lesquelles, est effectuée la simulation, ainsi que la spécification des conditions aux limites, il permet de choisir le processus itératif, en proposant plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle et pour le couplage de vitesse et de pression.
- **POST-PROCESSEUR** : permet de visualiser la géométrie et le maillage du domaine, mais surtout d'afficher les résultats obtenus. Il est ainsi possible de visualiser les champs (pression, vitesse, température, ...) ainsi que toutes les grandeurs calculées. Il offre aussi la possibilité de tracer et visualiser les lignes de courants. ³²

III.6.1. Lancement de Fluent

Puisque notre géométrie est en 2D, pour le domaine de calcul le choix du 2D double précision le plus semblable notre étude, il est donc distingué comme suit :

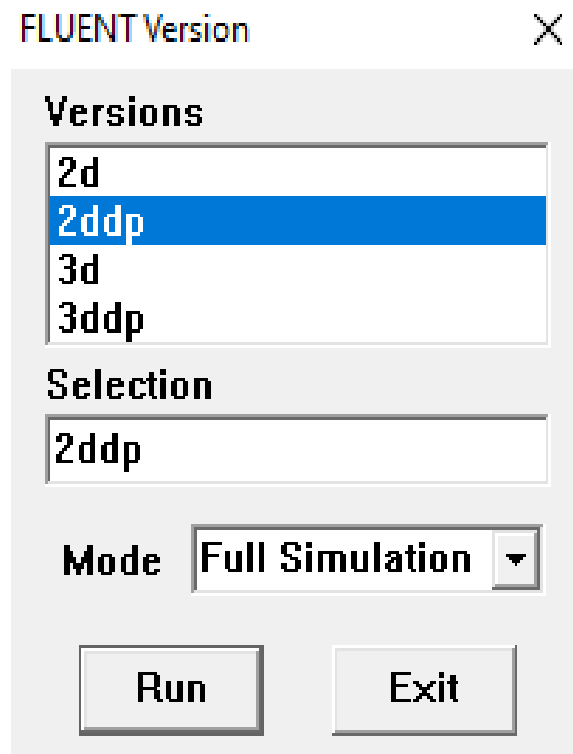


Figure III.10. Le lancement du Fluent.

III.6.2. Importation de la géométrie

Pour commencer l'étude il faut importer le fichier (mesh) généré sous Gambit par l'étape suivante : File – Read – Case

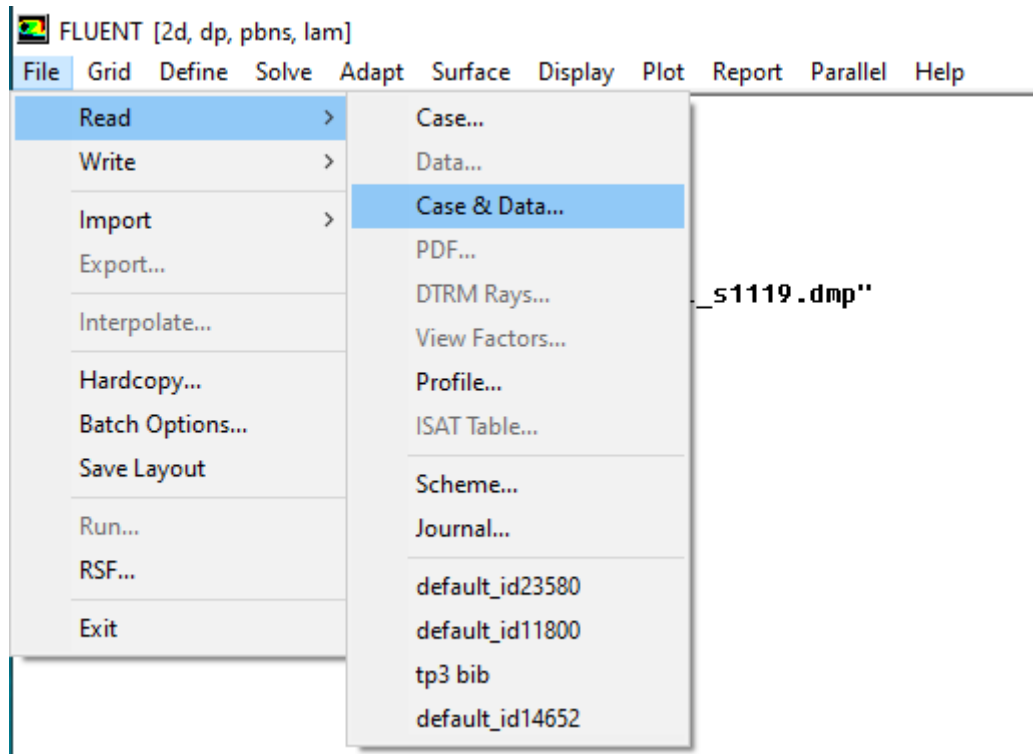


Figure III.11. Importation de la géométrie dans Fluent.

III.6.3. Choix du matériel

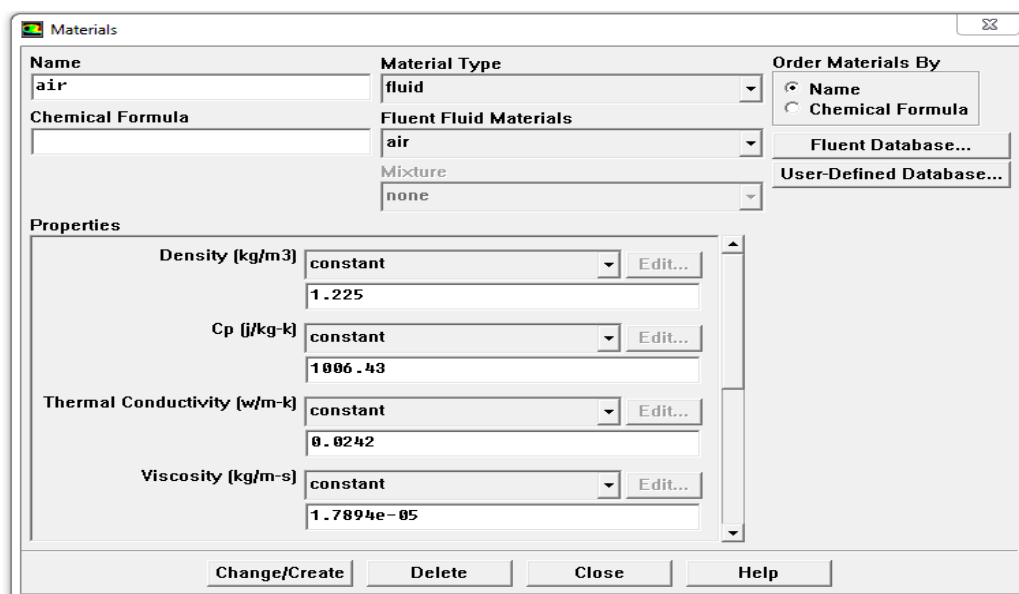


Figure III.12. Choix du matériel (Fluide air).

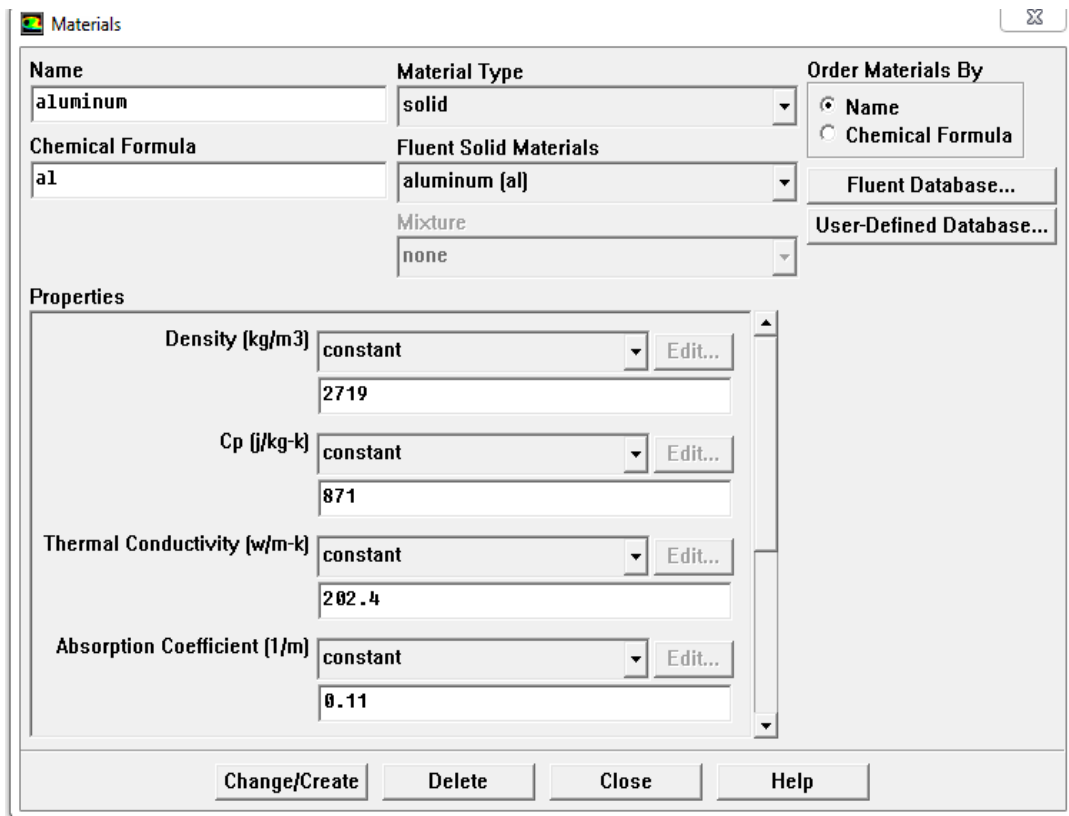


Figure III.13. Choix du matériel Solid aluminium.

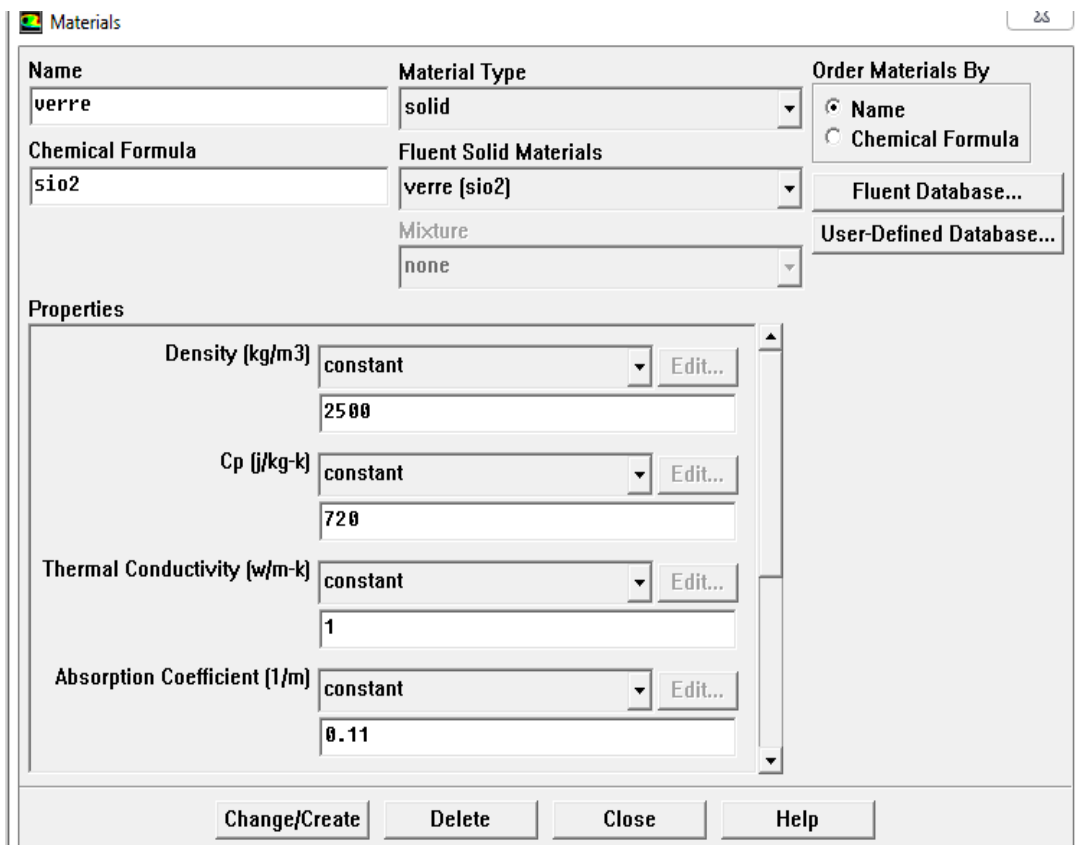


Figure III.14. Choix du matériel Solid verre.

III.7. Choix des modèles

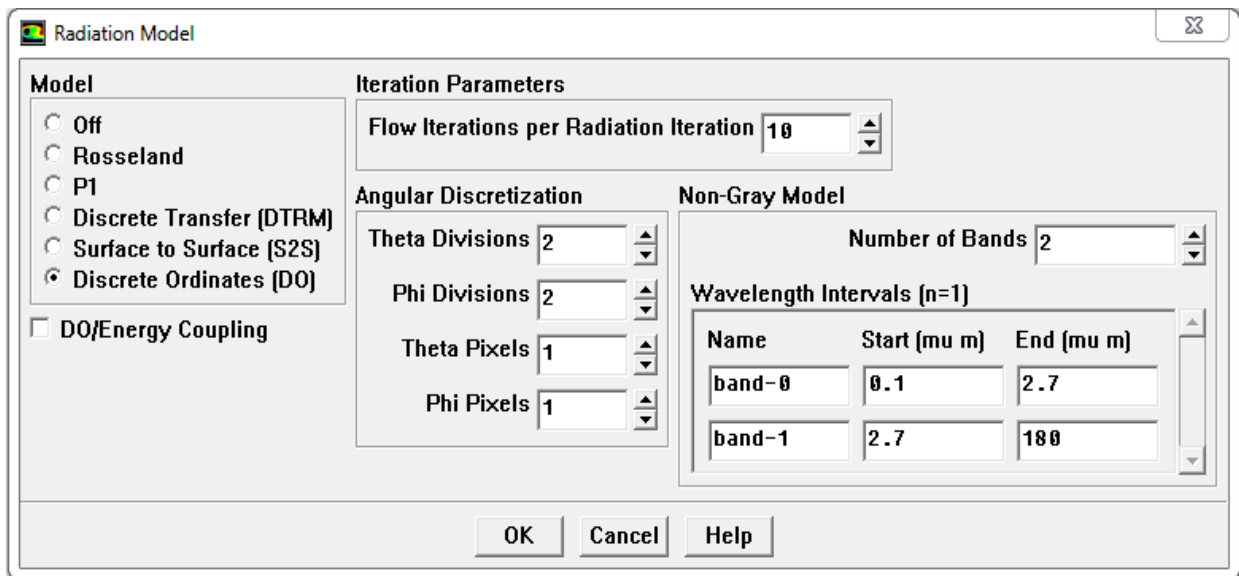


Figure III.15. Choix du modèle de radiation.

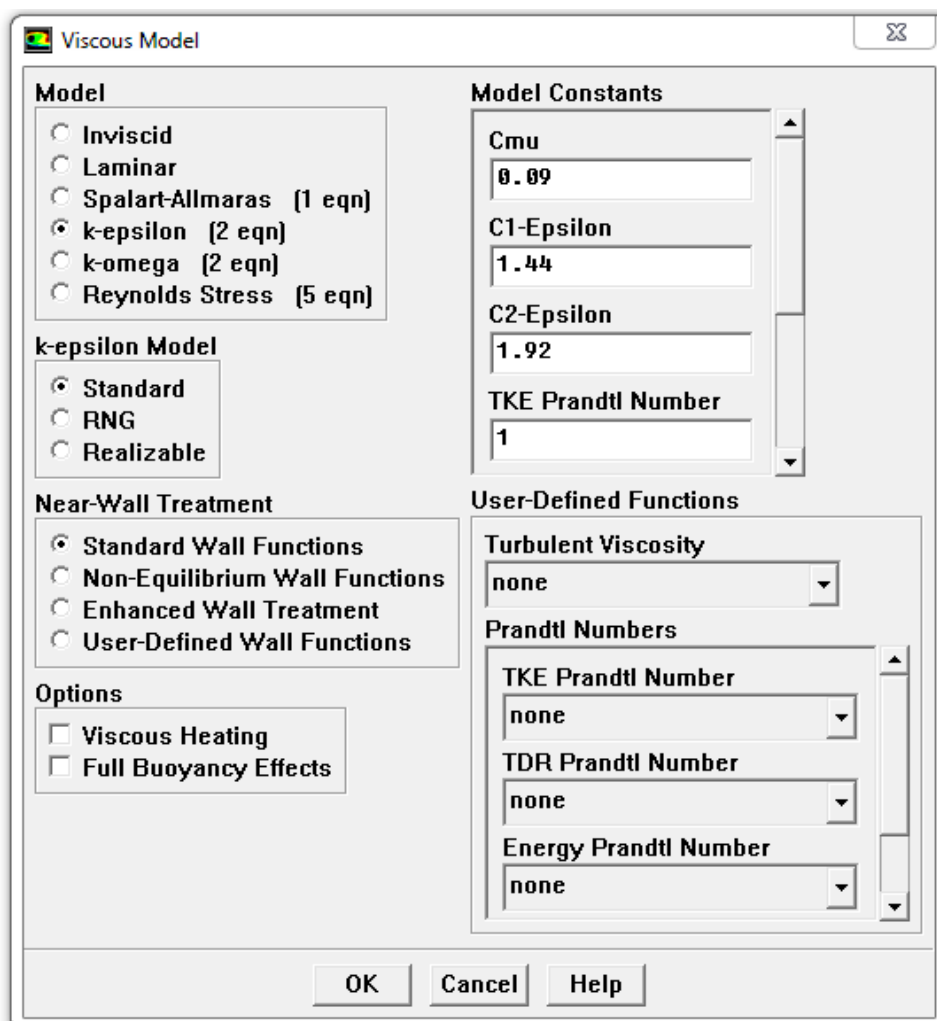


Figure III.16. Choix du modèle de Turbulence.

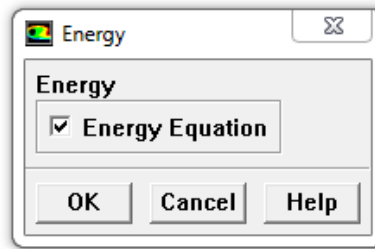


Figure III.17. Choix du modèle énergie

III.6.1. Conditions de limites

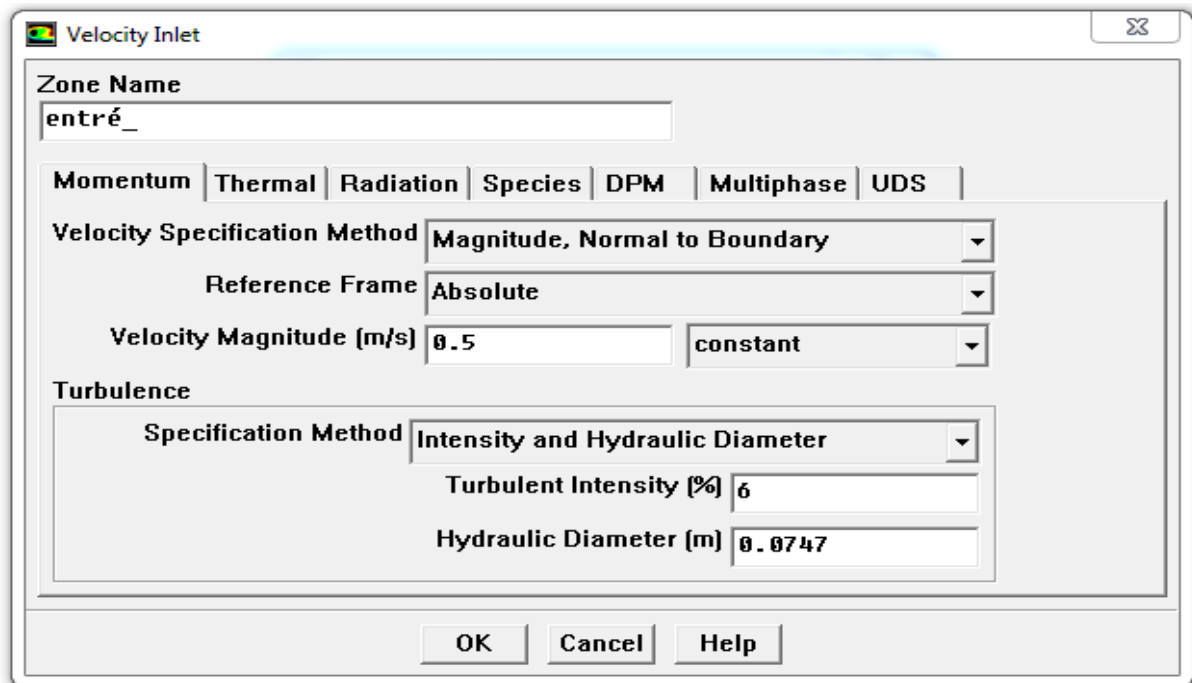


Figure III.18. Vitesse de l'air à l'entrée.

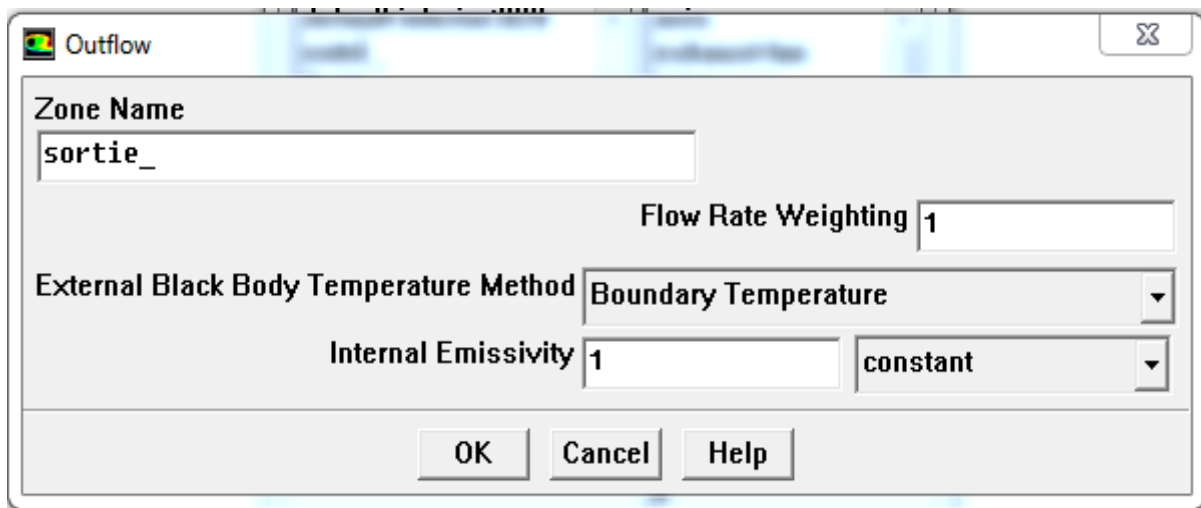


Figure III.19. Condition out flow à la sortie .

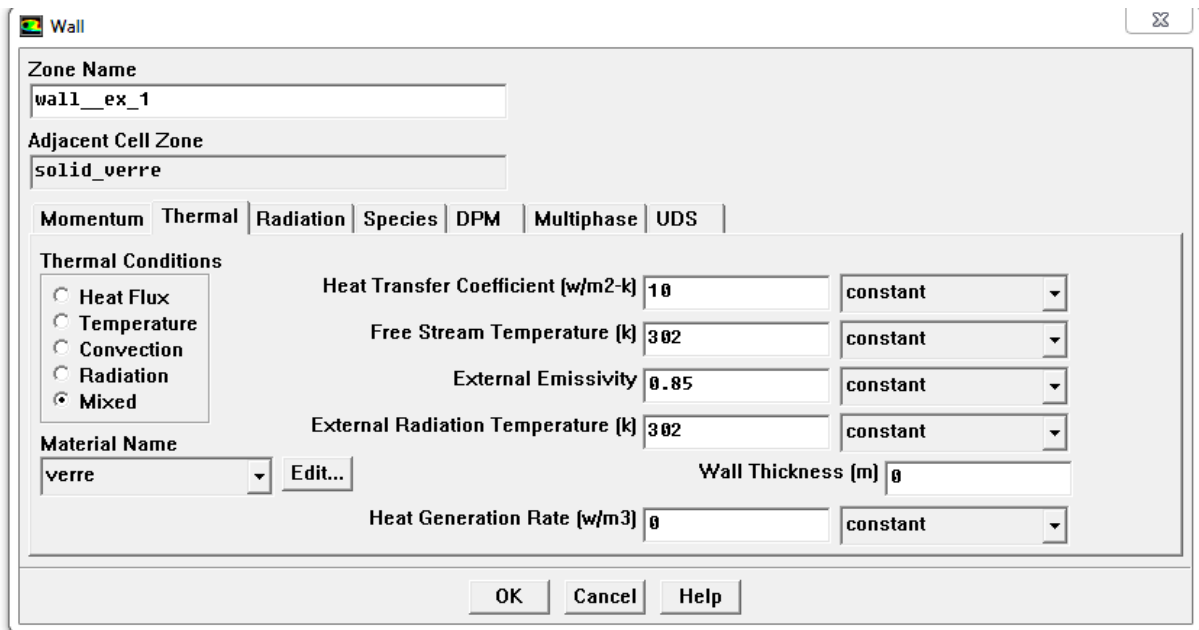


Figure III.20. Conditions aux limites thermiques au niveau du vitrage extérieur .

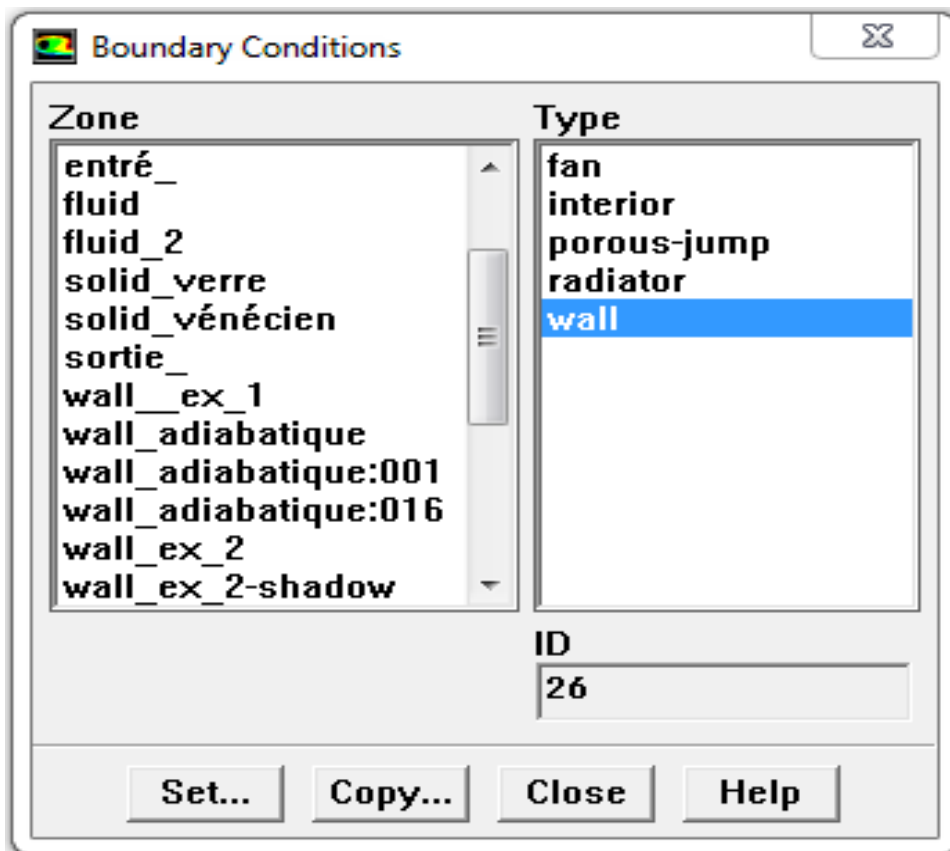


Figure III.21. Choix des différentes conditions aux limites.

III.8. Contrôle solution :

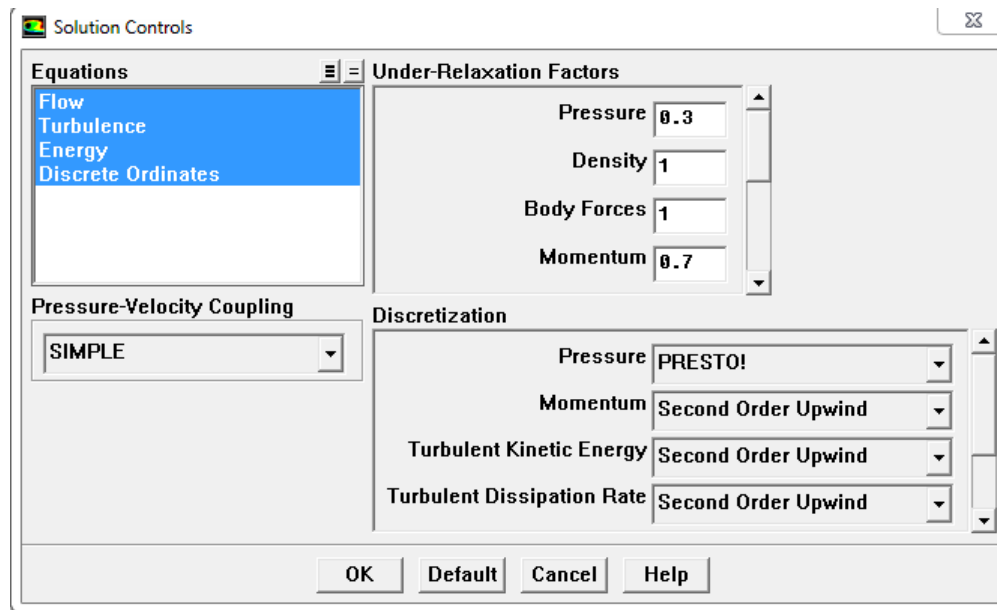


Figure III.22. Précision de la solution

III.9. Conclusion

En conclusion, ce chapitre sur la simulation numérique a fourni les bases essentielles pour l'étude de l'isolation thermique de la façade de bâtiment avec double vitrage. En utilisant la mécanique des fluides numérique (CFD) à l'aide des logiciels Gambit et Fluent, nous avons pu modéliser de manière précise les différents composants de la façade et étudier leur comportement thermique. Grâce à cette approche, nous serons en mesure d'évaluer de manière approfondie les performances de la façade et de proposer des améliorations pour optimiser son isolation thermique.

Les étapes présentées dans ce chapitre montrent les principales procédures qu'on a suivies pour une réalisation réussie de la simulation étudiée, dans laquelle on a utilisé Le Gambit pour la réalisation de la géométrie étudiée et ANSYS FLUENT pour la simulation des cas voulus.

Chapitre IV :

Résultats et

interprétations

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats numériques de la DSF fournie par le software Fluent 6.3 par l'exposition de l'évolution des différents paramètres : le champ des lignes de courant, le champ des vitesses, les paramètres de turbulence (énergie cinétique turbulente, le champ de la température et le rayonnement incident)

IV.2. Maillage de la géométrie

La figure suivante représente la représentation du maillage de notre problème physique figure (IV.1). On choisit le maillage triangulaire de type pave pour le fluide et maillage carré de type quad pour les vitrages

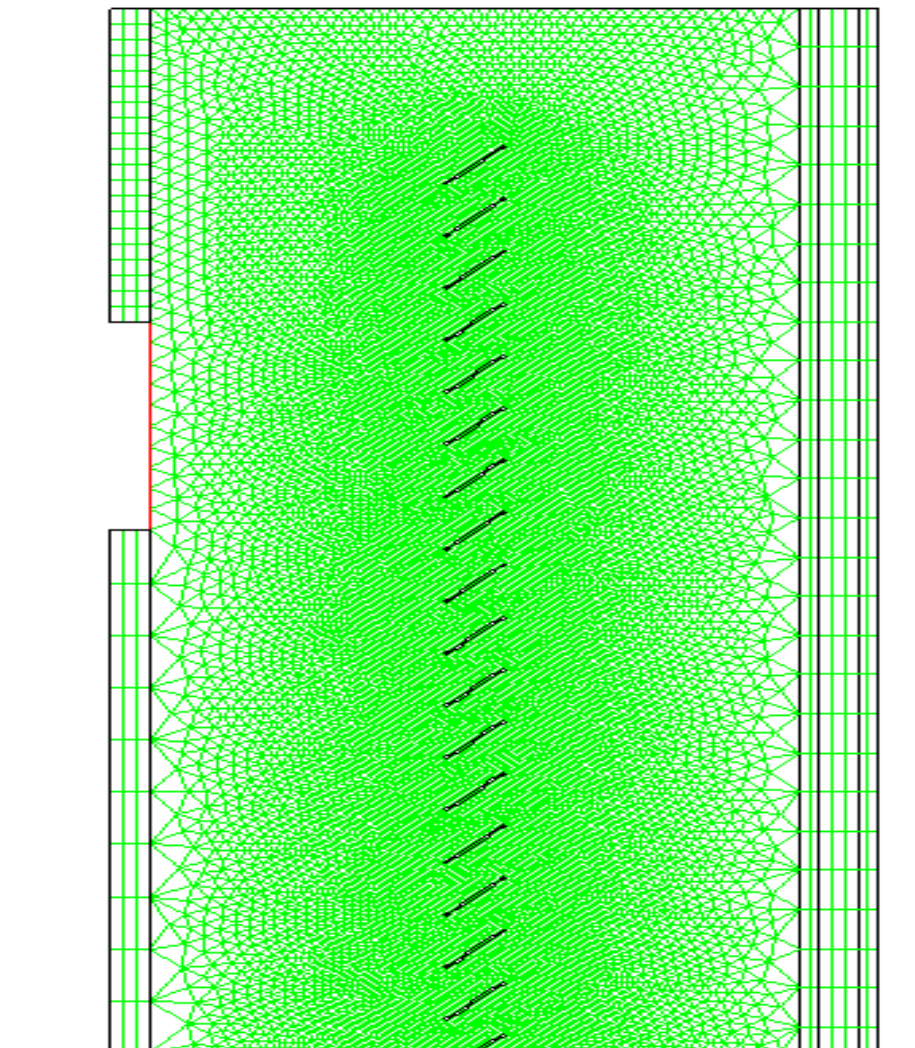


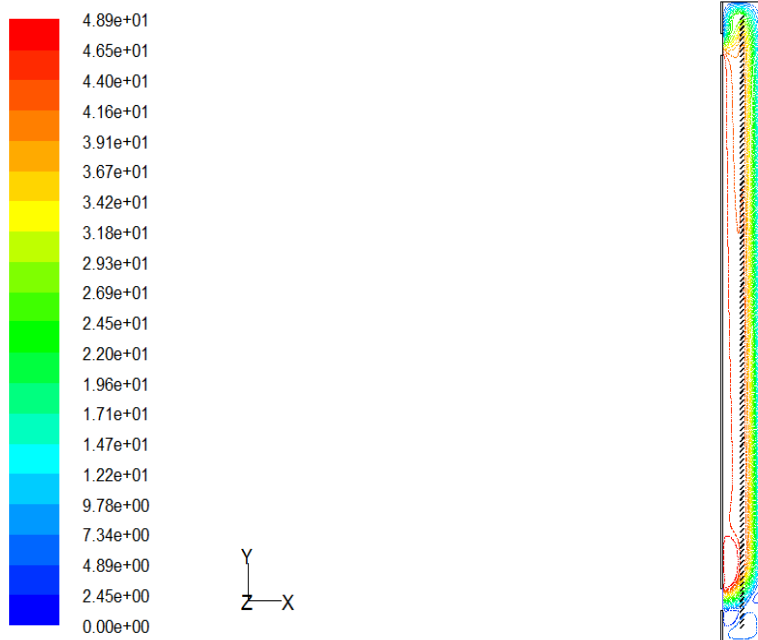
Figure IV.1. Maillage de la géométrie

IV.3. Distribution des lignes de courant

Les figures suivantes illustrent l'évolution de des lignes de courant de l'écoulement aéraulique à l'intérieur du conduit de la façade à double peau. On observe que l'écoulement est important prêt du premier vitrage (simple vitrage).

L'augmentation de la vitesse d'entrée dans la façade à double peau conduit à l'élévation de la valeur des lignes de courant.

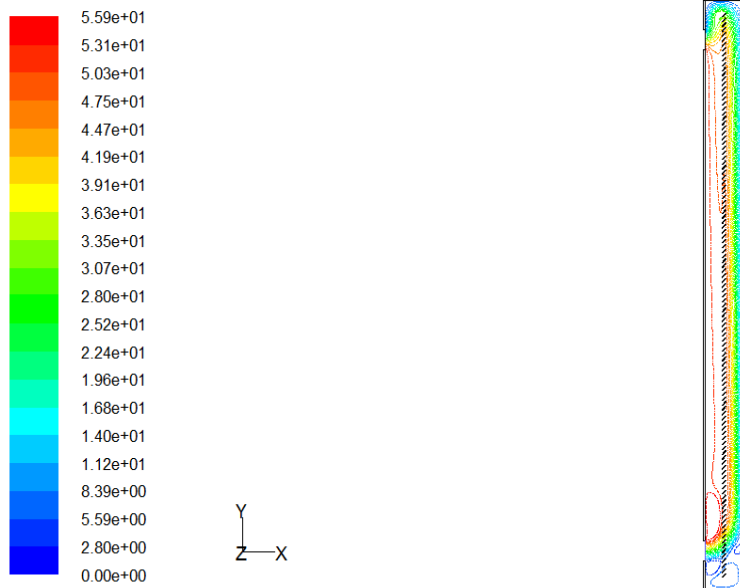
- $V = 0.35 \text{ m/s}$



Contours of Stream Function (kg/s)

May 15, 2023
 FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

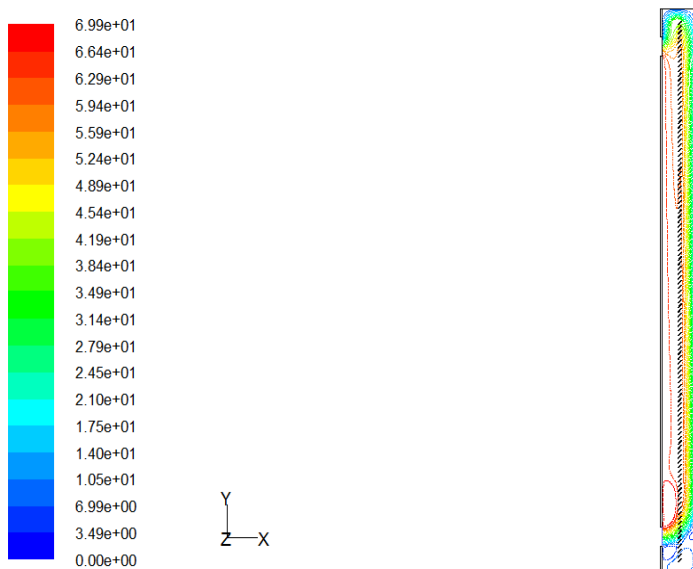
- $v = 0.4 \text{ m/s}$



Contours of Stream Function (kg/s)

May 14, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

- $v = 0.5 \text{ m/s}$



Contours of Stream Function (kg/s)

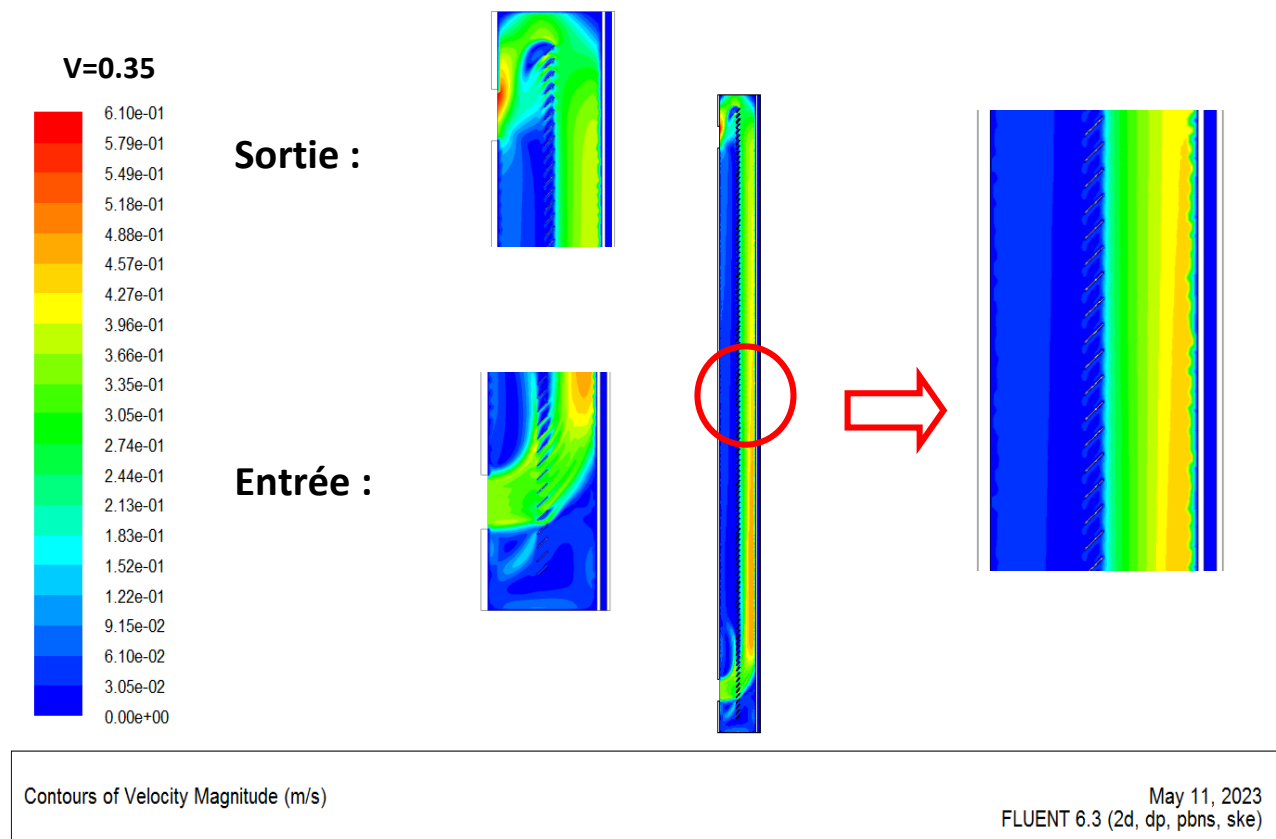
May 15, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

Figure IV.2. Contour de la vitesse à la sortie.

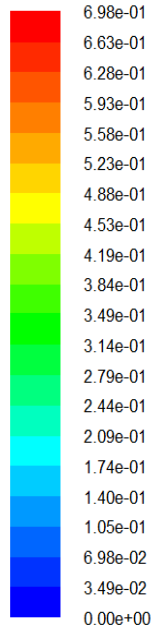
IV.4. Distribution de la vitesse

Les figures suivantes montrent l'évolution du champ de vitesse la distribution de la vitesse pour différente vitesse d'entrée d'air dans le mur double façade. Nous remarquons une augmentation de la vitesse jusqu'à une valeur maximale à la sortie (figure IV.2). La vitesse de l'écoulement de l'air à l'intérieur du conduit de la DSF dépend des vitesses à l'entrée (V=0.35 m/s, V=0.4 m/s, V=0.5 m/s) plus la vitesse à l'entrée augmente plus que la vitesse de champ de l'écoulement augmente.

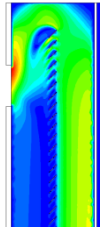
L'évolution de la vitesse transversale (suivant l'axe y) a une variation importante jusqu'à la hauteur 500 mm de la DSF (Figure IV.3).



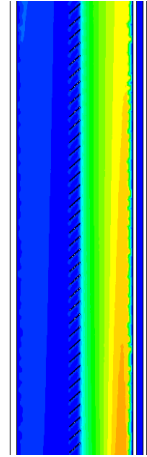
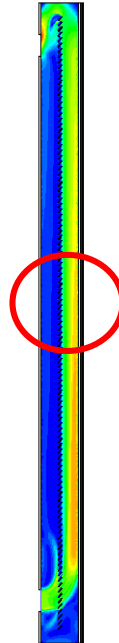
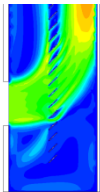
v=0.4



Sortie :



Entrée :



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

May 14, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

V=0.5

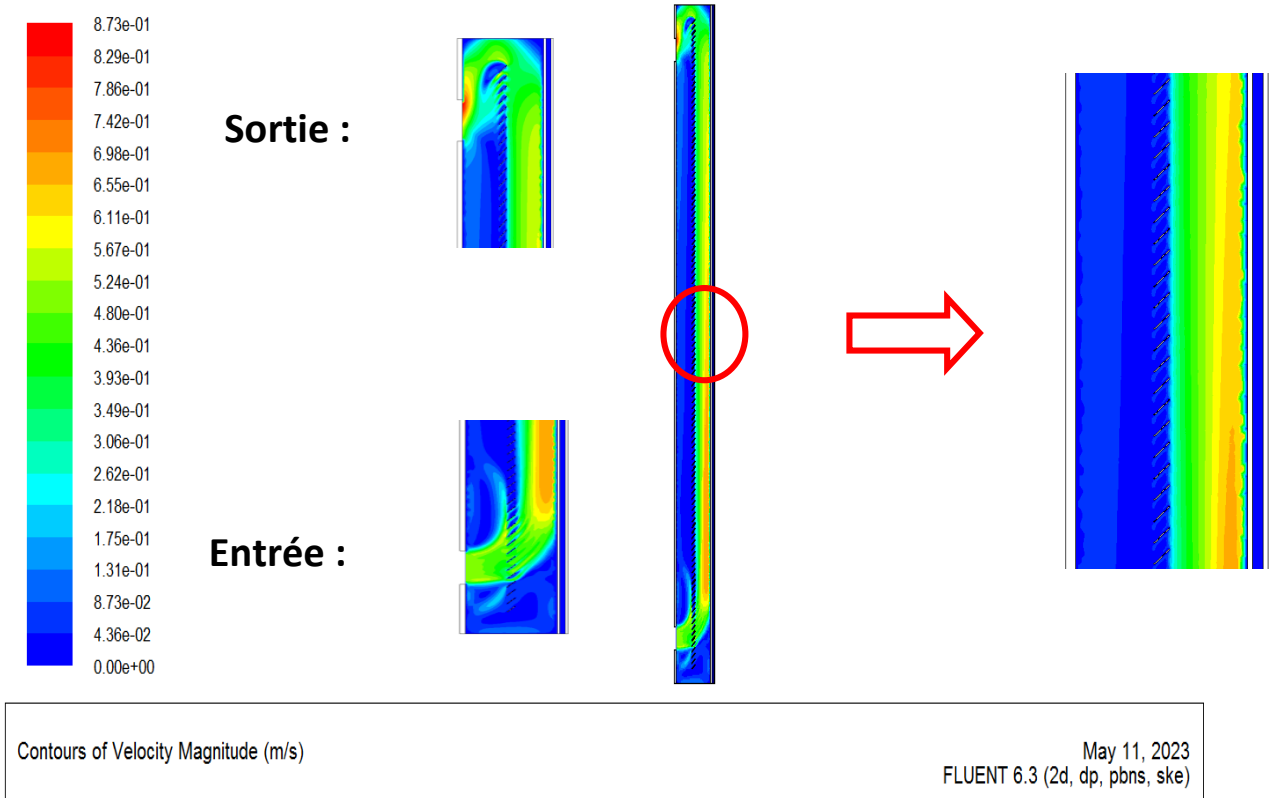


Figure IV.3. Contour de la vitesse à la sortie

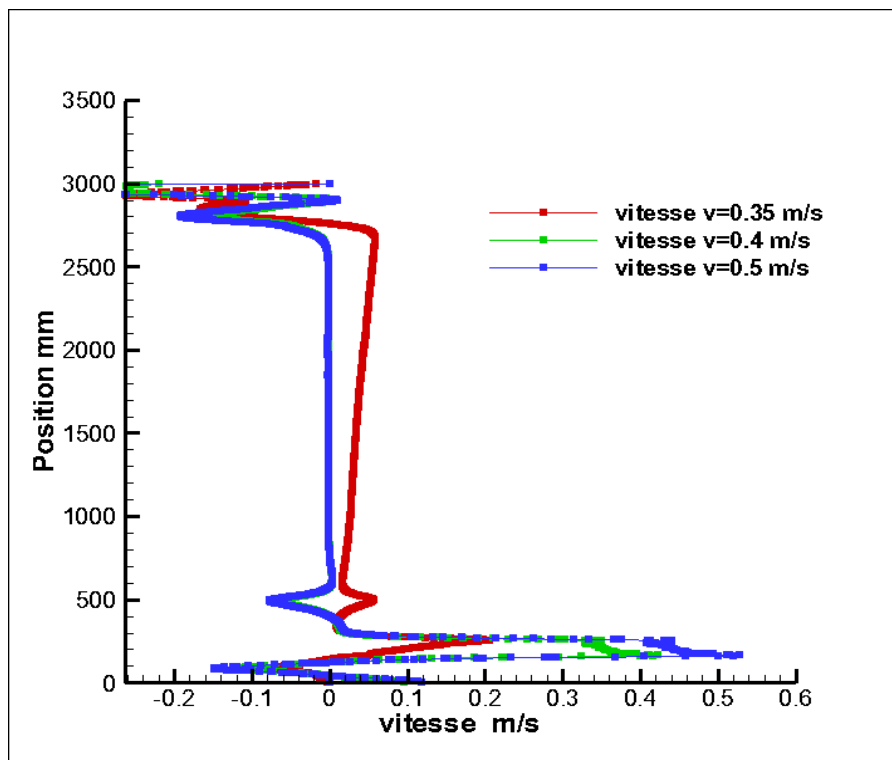


Figure IV.4. Profile de la vitesse suivant l'axe y le long de la conduite

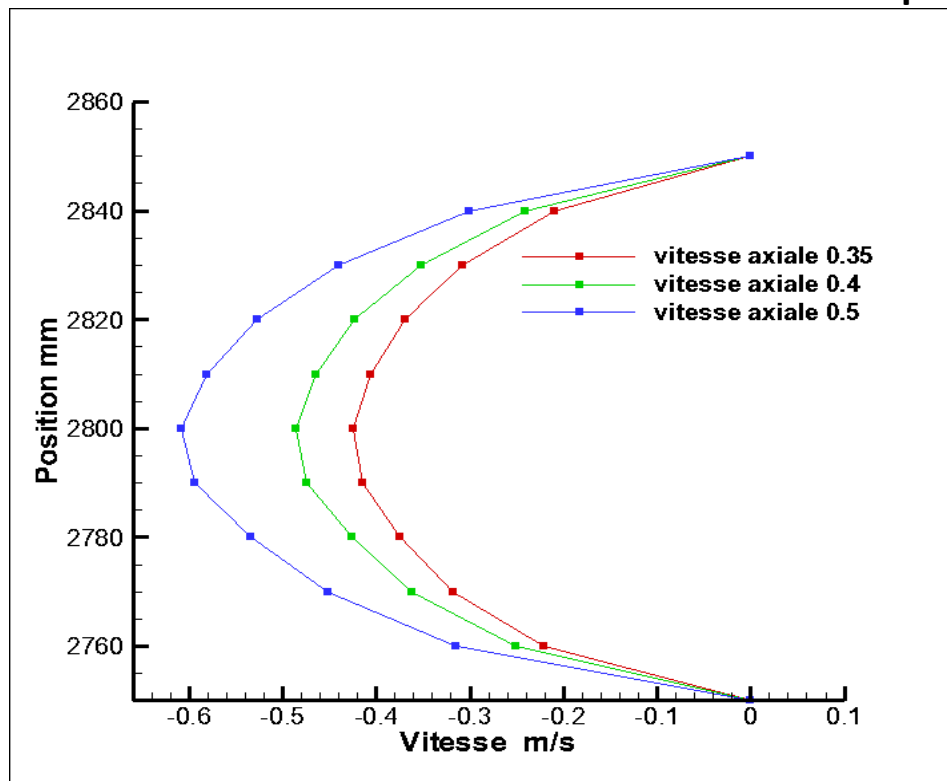
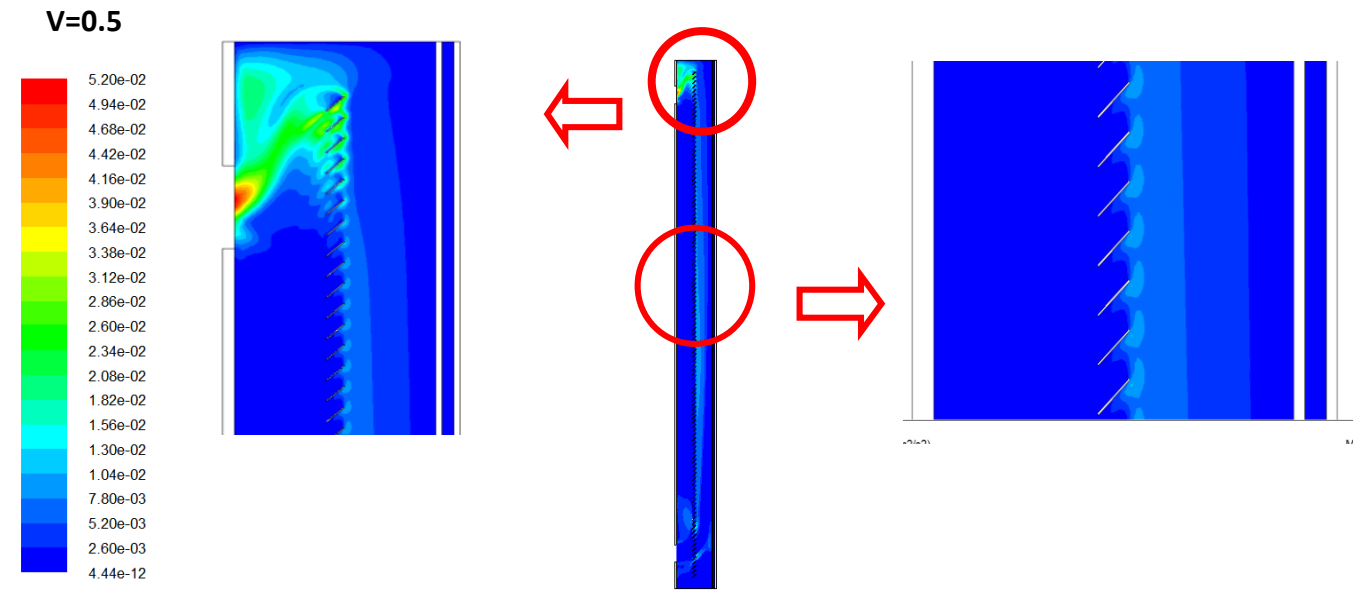


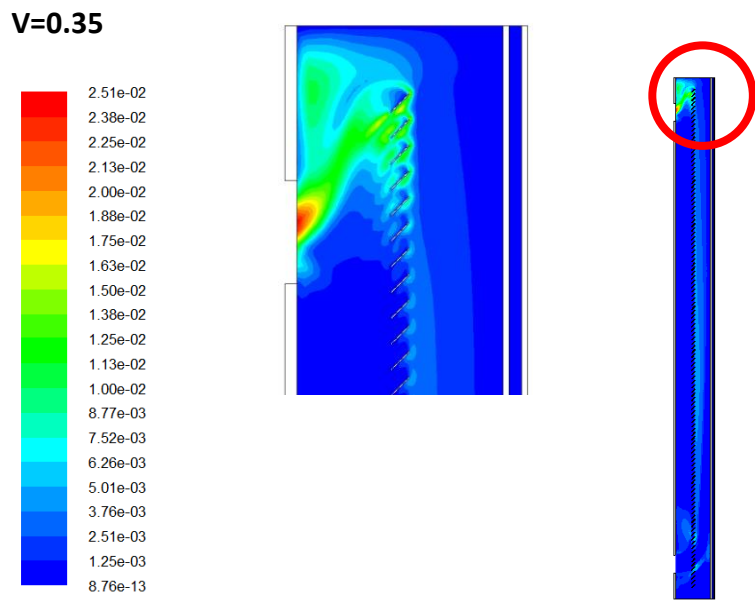
Figure IV.5. Profil de la vitesse axiale à la sortie.

IV.5. Distribution de l'énergie cinétique

L'évolution des valeurs de l'énergie cinétique turbulente et de l'intensité turbulente est très importante à la sortie de la façade double peau. On observe aussi le développement de l'énergie cinétique au niveau des vénitiennes sur tout celle proche de la sortie.

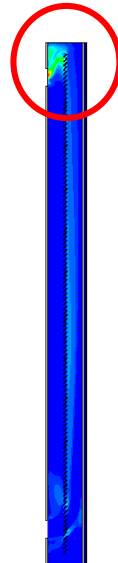
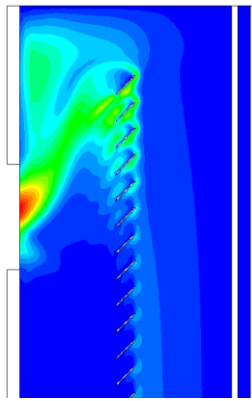
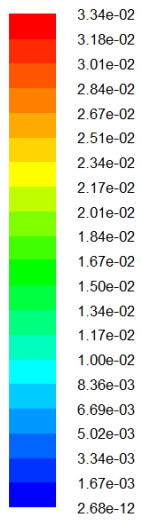


Contours of Turbulent Kinetic Energy (k) (m2/s2) May 11, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)



Contours of Turbulent Kinetic Energy (k) (m2/s2) May 11, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

V=0.4



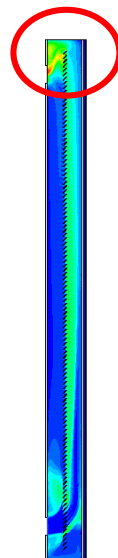
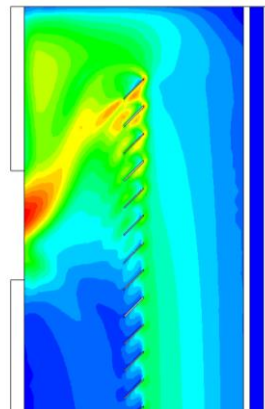
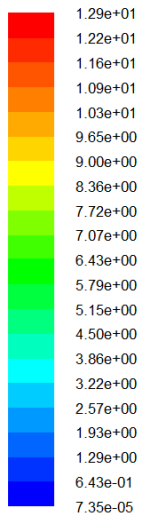
Contours of Turbulent Kinetic Energy (k) (m2/s2)

May 14, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

Figure IV.6. Contour de la turbulence.

IV.6. Distribution de l'intensité turbulente

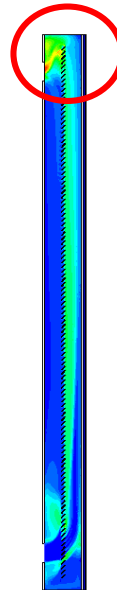
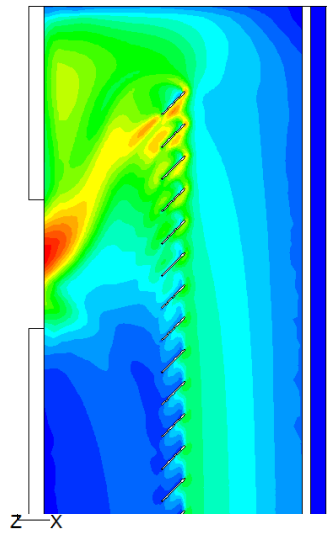
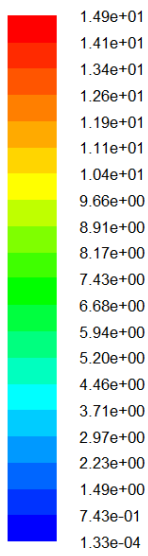
V=0.35



Contours of Turbulent Intensity (%)

May 15, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

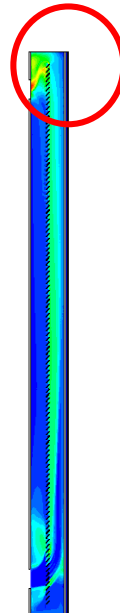
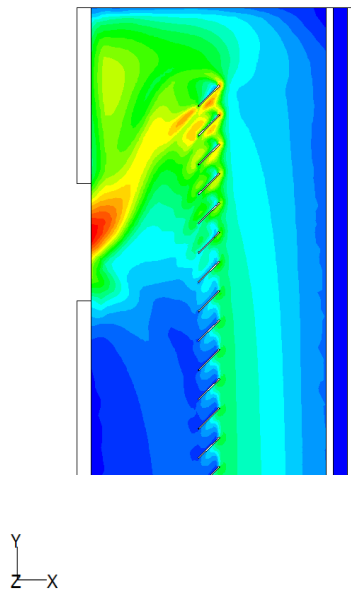
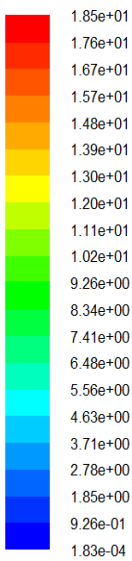
V=0.4



Contours of Turbulent Intensity (%)

May 14, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

V=0.5



Contours of Turbulent Intensity (%)

May 15, 2023
FLUENT 6.3 (2d, dp, pbns, ske)

Figure IV.7. Contour de l'intensité turbulente.

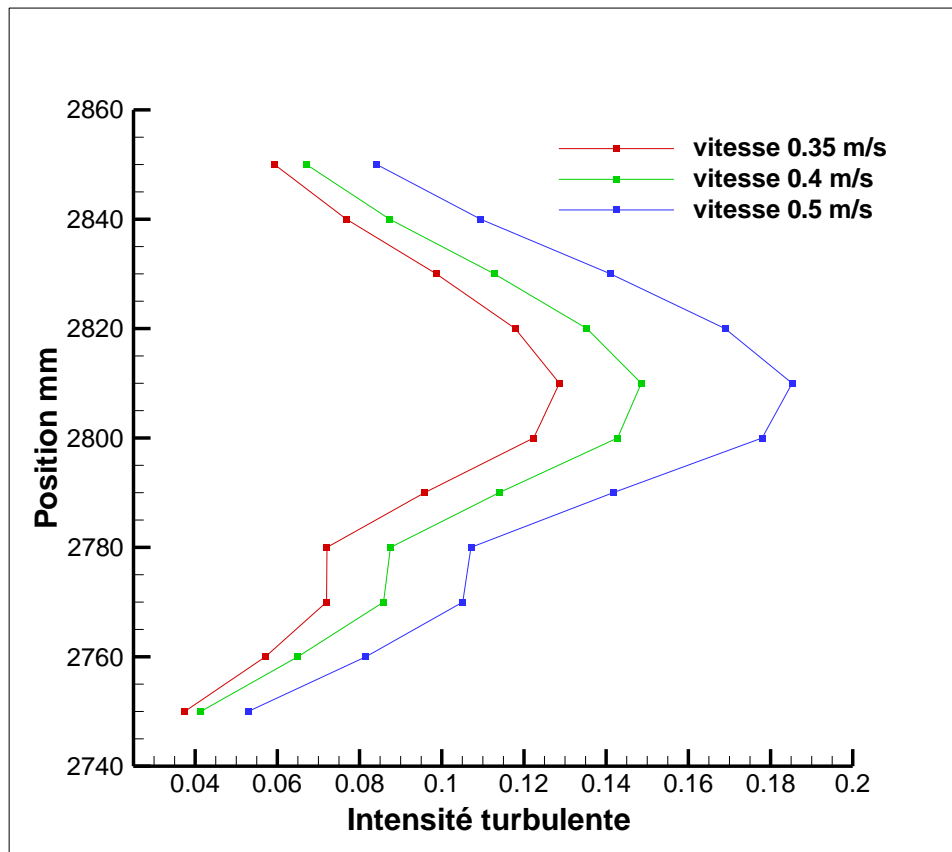


Figure IV.8. Profil de la distribution de l'intensité turbulente.

IV.7. Distribution de la température

La figure suivante figure (IV.9) illustre l'évolution de la température de fluide (air) le long du conduit du mur à double peau. On observe que les parties du fluide les plus chauffé sont proche de la paroi extérieur soumis au rayonnement solaire.

L'évolution de la température le long de la conduite à partir de 500 mm jusqu'à 2700 mm était la plus importante par rapport à l'entrée et la sortie de la conduite.

La plus haute valeur de la température à la sortie du mur à double peau $T = 333$ K était pour la vitesse d'entrée d'air la plus base ($v = 0.35$ m/s).

Le tableau 1 suivant nous montre les valeurs moyenne de la vitesse, l'énergie cinétique et la température au différent d'entrée d'air on observe que plus la vitesse d'entrée d'air est importante plus la valeur de la vitesse et l'énergie cinétique augmente alors que les températures moyennes diminuent. Donc l'évolution de la température est inversement proportionnelle à la vitesse d'entrée d'air.

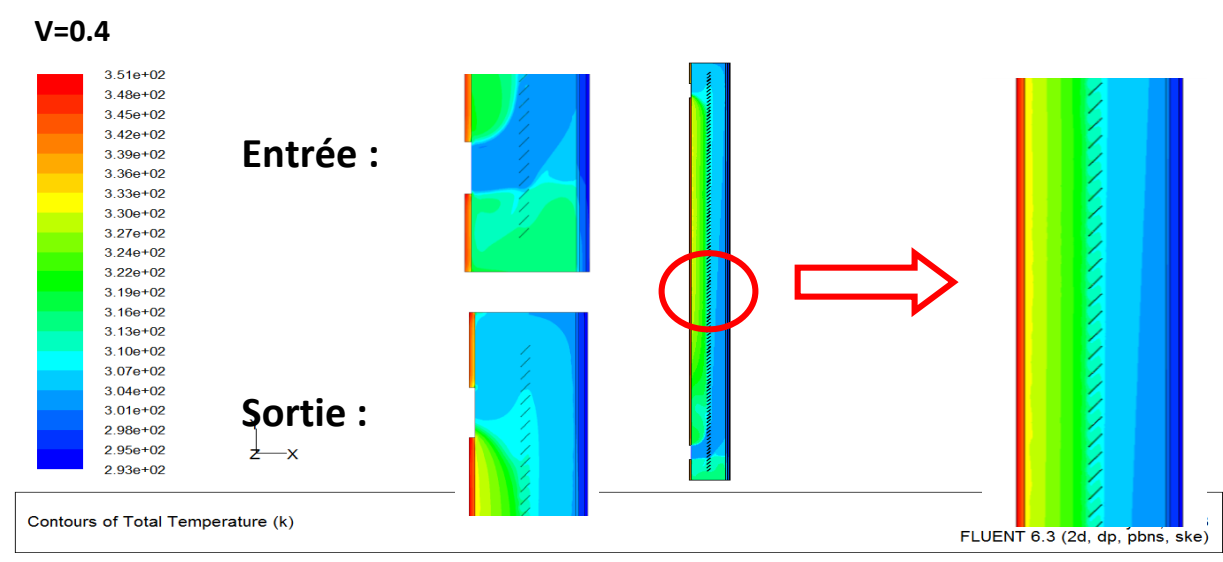
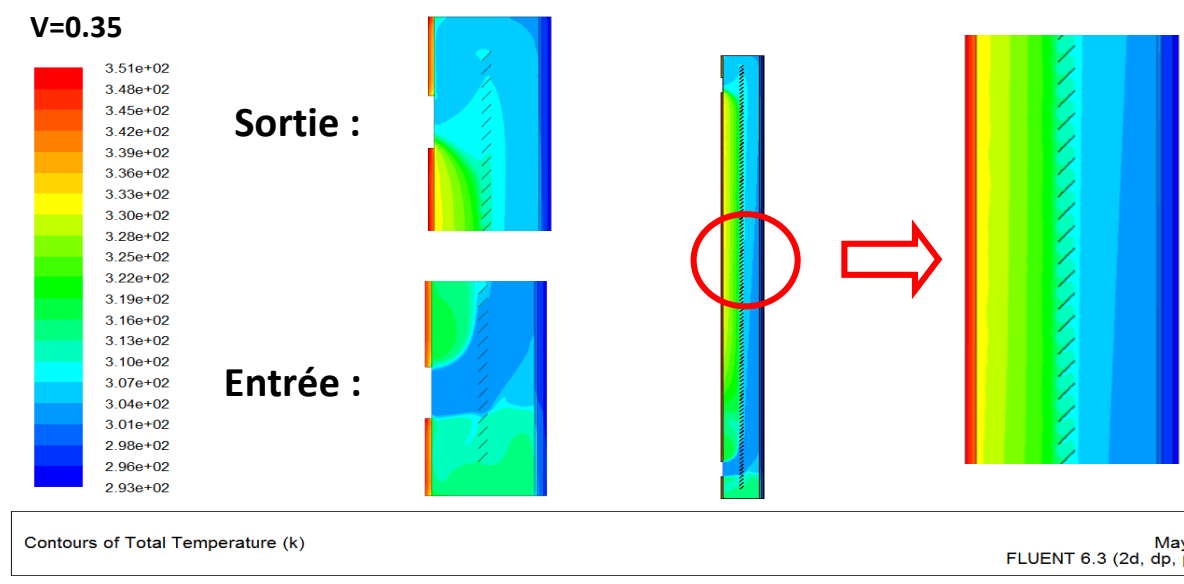
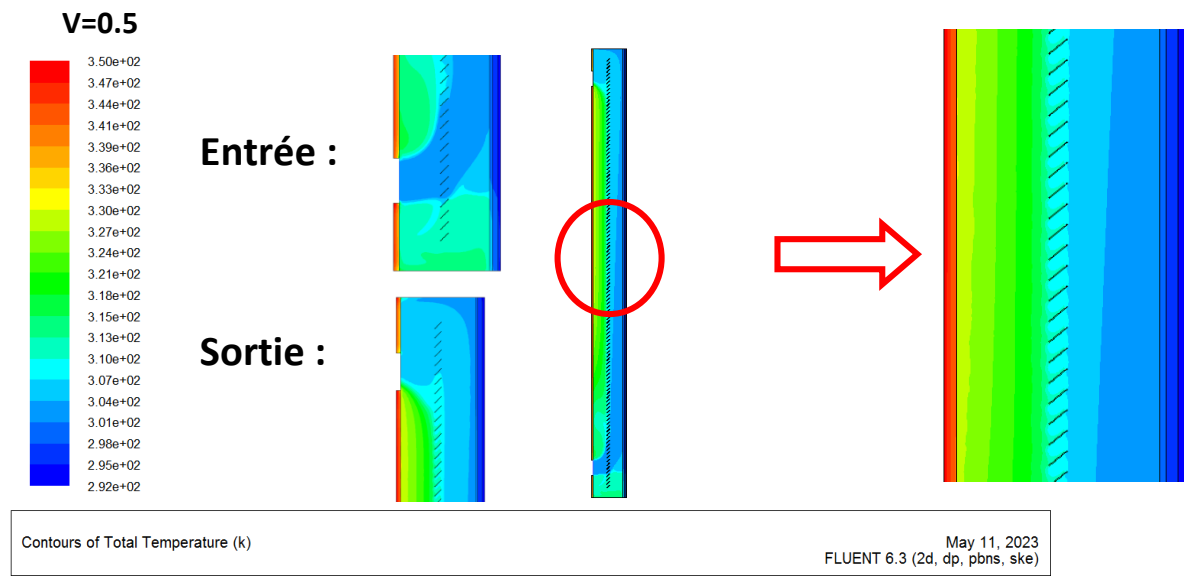


Figure IV.9. Contour de la température.

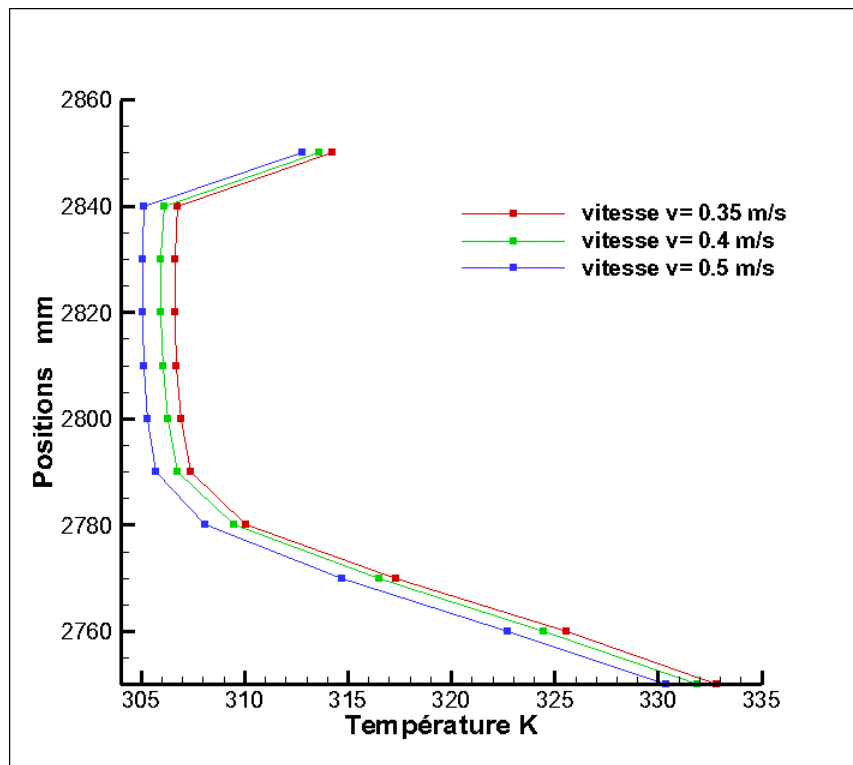


Figure IV.10. profil de la distribution de la température à la sortie.

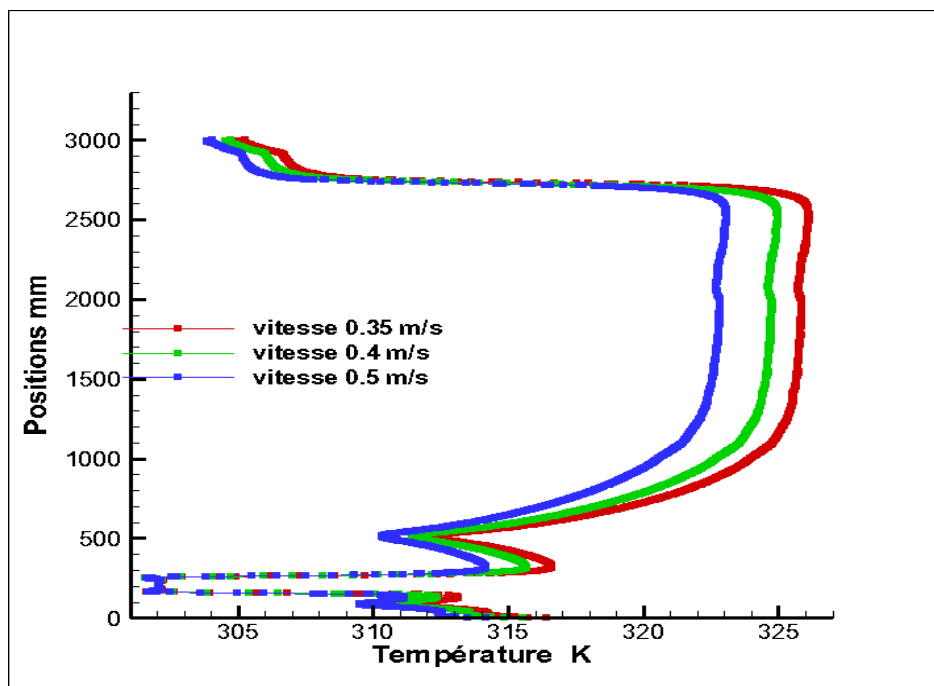


Figure IV.11. Profil de la distribution de la température au long de la conduite.

IV.8. Distribution de la Radiation

La figure suivante montre le contour de la distribution des radiations à travers la géométrie étudiée figure (IV.12).

On remarque que l'intensité des radiations est très importante à la paroi extérieure exposé au rayonnement solaire et commence à diminuer à travers notre géométrie, on remarque aussi les vénitiens sont devenus un obstacle pour le rayonnement.

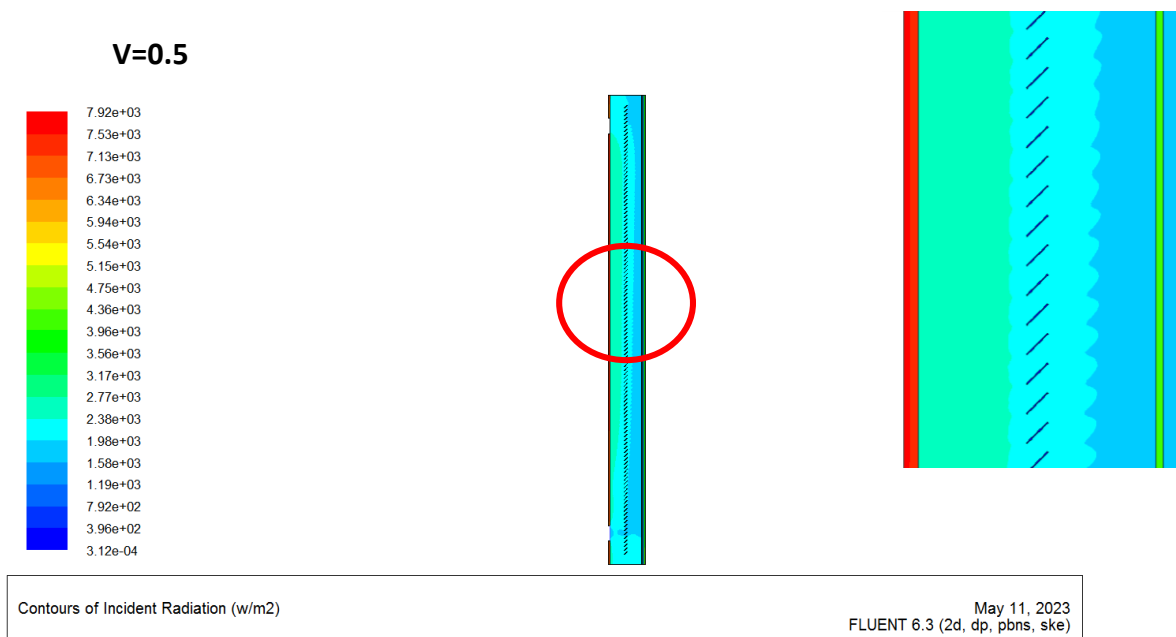


Figure IV.12. Contour de la radiation.

Tableau IV.1. Visualisation des valeurs moyennes de la vitesse, l'énergie cinétique et de la température

Vitesse de l'air à l'entrée [m/s]	Valeur de vitesse moyenne	Valeur de l'énergie cinétique moyenne	Valeur de la température moyenne
0.35	0.182	0.00136	312.7899
0.4	0.208	0.0017	312.0625
0.5	0.260	0.0027	310.9442

Conclusion :

En conclusion, le chapitre des résultats de simulation de transfert de chaleur a fourni une compréhension des mécanismes de transfert de chaleur et de leurs effets sur le système du mur à double peau étudié. Les simulations ont permis de visualiser la distribution de la vitesse, énergie cinétique, l'intensité turbulente et la distribution de température pour évaluer les performances thermiques des différentes configurations. La température moyenne de l'air à l'intérieur de la DSF était celle de la première configuration.

Conclusion générale

Dans cette étude, un modèle CFD bidimensionnel d'une façade à double peau (DSF) équipée d'une protection solaire de type vénitien a été étudié. L'utilisation du double vitrage du mur intérieur pour avoir une bonne isolation thermique. L'écoulement était considéré pleinement développé à la sortie.

L'outil CFD FLUENT 6.3 a été introduit pour achever cette étude.

Notre étude numérique a été entamée avec trois vitesses d'entrée d'air en convection forcée avec un rayonnement solaire incident en utilisant la condition couplée dans le logiciel fluent. Une observation notable de l'augmentation de la vitesse, atteignant une valeur maximale à la sortie.

Un développement très important de l'intensité turbulente et de l'énergie cinétique turbulente était observé à la sortie de la DSF.

Les effets du changement de la vitesse d'entrée d'air à la façade double peau nous a permis de conclure que la vitesse la plus basse nous a donné la température de l'air à l'intérieur du canal de la DSF.

Références biographiques

- [1] BELKHIRI Amer- Amélioration du confort thermique dans un bâtiment touristique Cas du complexe thermal Chellala Guelma, Mémoire de Master 1'Université 08 Mai 1945 de Guelma, 2017, p8.
- [2] KHADRAOUI Mohamed Amine- Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique (cas bâtiment tertiaires dans un climat chaud et aride), Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider - Biskra, 2019, p 80-81-83-84-85-86.
- [3] Mr MAZARI Mohammed- Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou), MÉMOIRE DE MAGISTER, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012, p 8-9.
- [4] Confort thermique : généralité, Energieplus, Consulté le 20/02/2023, Disponible sur : https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/#Confort_et_humidite
- [5] BENGHALIA ASSALA, KEMAOUN WISSAM - Une façade double peau pour un meilleur confort thermique, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ L'ARBI BEN MHIDI OUM EL BOUAGHI, 2020, p 35
- [6] Cécile Batier. Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : D'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales. Université de Montpellier, 2016. P48
- [7] Melle MEDJELEKH DALEL- Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment (Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma), MEMOIRE de MAGISTER, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, 2006, p9.
- [8] Adrien Dhalluin. Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire. Université de La Rochelle, 2012, p32-33
- [9] Consommation d'énergie finale dans le monde, CDE, Consulté le 22/02/2023, Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-denergie-finale-dans-le-monde>
- [10] QUELLES SONT LES ÉNERGIES SECONDAIRES ?, choisir.com, Consulté le 22/02/2023, Disponible sur : <https://www.choisir.com/energie/articles/133069/quelles-sont-les-energies-secondaires#:~:text=Il%20existe%20trois%20grands%20types,et%20les%20%C3%A9nergies%20secondaires%20renouvelables.>
- [11] YALA mohammed essalih. L'Effet De La Façade Ventilée En Céramique Sur La Consommation Énergétique Dans L'habitat « Cas : Habitat Semi Collectif A Oum El Bouaghi ». MEMOIRE de Master, Université L'arbi Ben Mhidi–Oum El Bouaghi, 2020, p24.

Référence bibliographique

- [12] DIDA Mustapha. Contribution à l'étude de l'effet d'isolation thermique sur la consommation énergétique des bâtiments. MEMOIRE de Master. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. 2016. p3-4-5.
- [13] Benmostefa Omar Farouk, Belhadi Soufiane. L'audit énergétique dans le bâtiment et évaluation technico-economique des solutions d'efficacité énergétique : Cas des structures de l'université de TLEMCEN. MEMOIRE de Master. Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen. 2016. p 12-13.
- [14] Bilan énergétique national 2021, MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES, Consulté le 23/02/2023, Disponible sur : https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_2021_63df78f2b775e.pdf
- [15] Mr. BOURSAS Abderrahmane. Etude de l'efficacite energetique d'un batiment d'habitation a l'aide d'un logiciel de simulation. MEMOIRE de MAGISTERE. Université Constantine 1. 2013. p 15.
- [16] Alain Makhour. Étude expérimentale des performances énergétiques d'une fenêtre pariétodynamique équipée d'un vitrage chauffant. THÈSE DE DOCTORAT. Université LA ROCHELLE. 2021. p6. p8-9-10. p14-15-16-17-18.
- [17] M. HAZEM Ahmed, Méthodologie d'Optimisation Énergétique d'un Bâtiment Equipé d'une Double Façade Ventilée (D.F.V), Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, p9-10
- [18] fenêtre, LAROUSSE, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fen%C3%AAtre/33252>
- [19] Fenêtre : qu'est-ce que c'est ? Futura science, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-fenetre-10681/>
- [20] SWISS FERMETURES, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur <https://swiss-fermetures.ch/produits/fenetres-et-portes-fenetres/fenetres-et-portes-fenetres-pvc/la-fenetre-pvc.html#lg=3&slide=1>
- [21] Mlle. MELIANI SARRA, REALISATION D'UN INVENTAIRE DES FENETRES Cas d'étude : Le Centre Historique de la ville de Miliana, Mémoire de Master, UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA1, 2015, p22-23.
- [22] MALIKA Myal, Évaluation des performances énergétiques d'une fenêtre dotée d'un vitrage électro chromique. Thèse de doctorat, École de technologie supérieure, 2010, p4
- [23] Choisir entre les différents types de fenêtre : récapitulatif, energieplus, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : <https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/choisir-entre-les-differents-types-de-fenetre-recapitulatif/>
- [24] AATTACHE, Amel. Nouveau matériaux le verre dans le bâtiment. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF U.S.T.O, 2018, p5-15-41-42
- [25] Smail BENHADJIRA, Abdeldjalil SADDOUKI. Effet de l'orientation et de la taille et des matériaux de construction des fenêtres sur la consommation énergétique. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2019, p13
- [26] Double vitrage, Wikipédia, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Double_vitrage

Référence bibliographique

- [27] Comment choisir le vitrage de ses fenêtres ?, izi by EDF, Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/vitrage-fenetre>
- [28] Le triple vitrage, Conseils Thermique , Consulté le 21/02/2023, Disponible sur : https://conseils-thermiques.org/contenu/triple_vitrage.php
- [29] Conservation of mass and momentum , Consulté le 18/05/2023, Disponible sur : <https://math.nyu.edu/~childres/chptwo.PDF>
- [30] Équation de bilan de la quantité de mouvement, Consulté le 18/05/2023, Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_de_bilan_de_la_quantit%C3%A9_de_mouvement
- [31] Mohamed Hamza, Abdullatif A. Gari, Numerical Heat Transfer and Pressure Drop Investigation of Different Height Baffles Mounted Simultaneously in a 2-D Channel, Life Science Journal 2013.
- [32] Mme. KHALDI Souhayla–Cour de la Matière CFD et logiciels, M2-Energétique, Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen.