

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES

Visa du chef de département des
Sciences et Technologies

Signature:.....

Date:.....

SIMULATION NUMERIQUE DE LA QUALITE D'AIR DANS UNE SALLE

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de master académique
en «*Installations Energétiques*»

Encadreur

Dr. BAGHDAD Mohammed, MCB

Signature :.....

Date :.....

Réalisé par :

GHABI Bendahmane

Signature :

Date :

Membres du jury

Dr. Kheris Sahraoui

MAA

Président

M. TRARI Tayeb

MAA

Examineur

Dr. BAGHDAD Mohammed

MCB

Encadreur

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES

Visa du chef de département des
Sciences et Technologies

Signature:.....

Date:.....

**SIMULATION NUMERIQUE DE LA QUALITE
D'AIR DANS UNE SALLE**

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de master académique
en «*Installations Energétiques*»

Encadreur

Dr. BAGHDAD Mohammed, MCB

Signature :.....

Date :.....

Réalisé par :

GHABI Bendahmane

Signature :

Date :

Membres du jury

Dr. Kheris Sahraoui

MAA

Président

M. TRARI Tayeb

MAA

Examineur

Dr. BAGHDAD Mohammed

MCB

Encadreur

Résumé

L'humidité de l'air intérieur a de multiples implications sur différentes questions. Par exemple, le confort thermique des occupants est liée non seulement à la température mais aussi de l'humidité relative de l'air intérieur. Le nombre d'études portant sur les phénomènes liés à l'humidité de l'air intérieur est relativement faible. En outre, l'importance du flux d'air pour l'humidité de l'air intérieur est évidente que le transport en raison de l'air est le principal mécanisme de mouvement d'humidité à l'intérieur des bâtiments. Par conséquent, l'écoulement d'air a une grande influence sur la répartition de l'humidité dans les chambres.

L'objectif de ce travail est de simulé numériquement le transport de l'humidité due à l'écoulement de l'air et la diffusion de vapeur d'eau dans l'air.

Basant sur la méthode des volumes finis, en utilisant le code commercial Fluent, plusieurs configurations ont été prises en considération. Ces conditions d'essai comprennent les effets la vitesse, l'angle d'inclinaison et la température d'air.

Les résultats présentés sous forme des contours de : vitesse, température de l'air et la distribution de l'humidité dans des plans horizontaux et verticaux.

Mots clés : Simulation numérique, Le confort thermique, L'humidité, Vitesse, température de l'air.

Dédicace

À mes très chers parents ;

À mes frères et sœurs, ma femme ;

À mes amis et camarades : Mouloud boukacem, Adim hmed, Aek
rebouh, abed,...

À tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENT

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la force pour mener ce travail à terme.

En premier lieu, je tiens à remercier vivement mon encadreur le Dr. BAGHDAD Mohammed, maitre de conférence à l'institut des sciences et technologies au Centre universitaire de Tissemsilt pour : sa disponibilité, ses conseils avisés et pour la confiance qu'il m'a accordé tout au long de ma formation.

Je souhaite également remercier tous les membres du jury Dr. KHERRIS Sahraoui. M. TRARI TAYEB pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire.

Je tiens à témoigner ma profonde reconnaissance à ma sœur pour sa gentillesse, son écoute attentive, son efficacité, sa grande passion pour la recherche et sa grande disponibilité au cours de la préparation de ce travail.

Je tiens à remercier aussi tous les enseignants de département des sciences et de la technologie qui ont participé à notre formation, et qui nous ont aidés à préparer ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à ma famille et mes amies pour leurs encouragements permanents, durant la réalisation de ce travail.

J'exprime aussi mes remerciements aux enseignants de génie mécanique, science de la matière.

En fin, je remercie tous ceux qui m'ont aidée et soutenue de près ou loin.

SOMMAIRE

1 Introduction et analyse bibliographie	12
1.1 Revue Bibliographique.....	13
1.2 Objectifs du Mémoire.....	16
2 Le confort thermique	22
2.1 Evaluation du confort thermique	18
2.2 Différent facteurs agissant sur le confort thermique.....	19
2.2.1 Influence climatique	19
2.2.2 L'orientation	21
2.2.3 La ventilation naturelle	21
2.2.4 Dimension des ouvertures.....	22
2.2.5 La forme et compacité	22
2.2.6 La couleur	22
2.2.7 Protection solaire et vent dominant	22
2.2.8 Isolation thermique	22
2.2.9 Inertie thermique.....	23
2.3 Les caractéristiques principales de l'isolation thermique.....	23
2.5 Type d'isolation	24
2.5.1 Isolation de l'intérieur	24
2.5.2 Isolation de l'extérieur.....	24
3 Modélisation et Mise en Equations	
3.1 Description du problème.....	26
3.2 Mise en Equation	27

3.2.1 Equation de continuité	27
3.2.2 Equation de Navier-Stokes.....	27
3.2.3 Equation d'énergie	27
3.3 Conditions aux limites	27
3.4 Modèle de Turbulence	28
3.6 Résolution Numérique	29
4 Resultats et discussions	45
4.1 Champ de température	45
4.1.1 Effet du débit sur le champ de la température.....	33
4.1.2 L'effet d'angle d'injection d'air sur le champ de la température.....	34
4.2 Champ de vitesse.....	36
4.2.1 Effet du débit sur la vitesse.....	36
4.2.2 Effet d'angle d'inclinaison sur la vitesse.....	37
4.3 Humidité relative.....	38
Conclusion	40

LISTE DES FIGURES

Fig.2.1- Coordonnées horizontales du soleil (azimut et hauteur)	23
Fig.2.2- Puissance solaire reçue en hiver et en été sur les surfaces horizontales et verticales Orientées sud et à l'ouest	
Fig. 3.1- domaine de calcul	26
Fig. 3.2 - Facteurs de sous relaxation et types de discrétisation utilisés	27
Fig.4.1- Localisation du plan médian dans la salle	33
Fig.4.2 -Contours des températures avec un angle d'injection 30° , $a.\dot{m}=0.2$ g/s ; $b.\dot{m}=0.5$ g/s	
Fig.4.3 - Contours des températures avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : $a. 15^\circ$; $b. 30^\circ$; $c. 45^\circ$	36
Fig.4.4 -Contours des vitesses avec un angle d'injection 30° , $a.\dot{m}=0.2$ g/s ; $b.\dot{m}=0.5$ g/s	36
Fig.4.5 - Contours des vitesses avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : $a. 15^\circ$; $b. 30^\circ$; $c. 45^\circ$	37
Fig.4.6 - Contours de l'humidité relative avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s et angle de jet 45°	38

LISTE DES TABLEAUX	
Tableau 1- Coefficients empiriques du modèle $k - \varepsilon$ standard dans Fluent 6.3.....	29

Nomenclature

Symboles Latins:

C_p	Chaleur spécifique du fluide à pression constante.	$\text{Kj. Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
g	Accélération de la pesanteur	m.s^{-2}
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
K	Conductivité thermique	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
L	Longueur de cavité	m
p	Pression du fluide	Pa
P	Pression adimensionnelle	
T	La température	K
u, v	Composante de vecteur de vitesse	m.s^{-1}
U, V	Composante adimensionnelle de vecteur de vitesse	
v	Volume	m^3
x, y	Coordonnées cartésiennes	m
X, Y	Coordonnées cartésiennes adimensionnelles	

Symboles grecs :

β	Coefficient d'expansion thermique	K^{-1}
φ	La fraction volumique	
η	La viscosité dynamique	N.s.m^{-2}
ρ	La densité	Kg.m^{-3}
α	La diffusivité thermique	$\text{m}^2.\text{s}$
ΔT	La différence de température	K

Nombres adimensionnels

E	Coef de transfert de chaleur
Nu	Nombre de Nusselt
Pr	Nombre de Prandtl
Re	Nombre de Reynolds
Ra	Nombre de Rayleigh

Indices

C	chaude
F	froid
f	Fluide de base (l'eau)
nf	nanofluide
s	Particules solide

Chapitre 1

Analyse bibliographie

Introduction

La consommation d'énergie est une question importante et est devenue une grande préoccupation pendant les dernières décennies. La demande énergétique a augmenté à un taux de 2 % par an pendant les 25 dernières années et elle continuera à monter au même taux si les modèles courants d'énergie persistent, selon l'agence internationale de l'énergie.

L'utilisation d'énergie de bâtiment explique une grande partie de consommation d'énergie globale. La plupart d'énergie de bâtiment est employée pour le chauffage des locaux et le refroidissement, et approximativement 51% de consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels.

Une méthode d'épargner les coûts énergétiques exigés pour la ventilation mécanique des bâtiments est l'utilisation de la ventilation normale, qui fournit et enlève l'air sur le bâtiment sans employer les systèmes mécaniques. La ventilation normale a le potentiel significatif de ramener des frais d'exploitation aux bâtiments de condition tout en maintenant la qualité de l'air à l'intérieur des locaux acceptable. Le confort thermique, dans des espaces de vie et de travail, constitue une demande reconnue et justifié, à laquelle le concepteur doit apporter des solutions durables afin d'éviter tout opération de réhabilitation thermique prématurée.

Le confort thermique peut être défini comme le degré de désagrément ou bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physique mesurables et certaines conditions individuelles qui effectuent notre perception. [1] La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu.

Le confort thermique est traditionnellement lié à six paramètres sa commence par le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos, et l'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement, d'autre part il ya aussi la température ambiante de l'air et la température moyenne des parois, enfin et là aussi l'humidité relative de l'air, qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température t_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température et la vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection.

1.1 Revue Bibliographique

L'étude de la qualité d'air dans un system fermé a fait l'objet d'un grand nombre de travaux numériques et expérimentaux. L'intérêt de ses études conclure l'influence de paramètre environnement dans un bâtiment sur le confort.

Başkaya et Eken (2004) ont établi une étude numérique sur la circulation d'air à l'intérieur d'une salle bureau dans des diverses conditions de ventilation [2]. Les caractéristiques de circulation d'air à l'intérieur d'une salle de bureau, contenant une personne et meubles de bureau, ont été étudiées numériquement dans de diverses conditions de ventilation. Les résultats ont été présentés sous forme de vecteurs de vitesse et de découpes de la température ainsi que des distributions quantitatives de vitesse et de température. Effectue en raison des occupants, les emplacements d'admission/sortie, la vitesse d'alimentation, les conditions d'hiver et d'été sur le flux d'air ont été examinées. Des prévisions numériques actuelles il peut montrer que les occupants changent de manière significative le mouvement d'air à l'intérieur et par conséquent affectent des états de confort.

Liu *et al.* (2006) ont été simulée flux d'air et analyse d'énergie avec le chauffage par rayonnement et la ventilation naturel [3].Trois cas sont comparés : la salle fermée, la salle avec de pleines ouvertures et la salle avec de petites ouvertures. Le chauffage de radiateur avec de petites ouvertures est recommandé. Le flux d'air et le confort thermique sont discutés pour le dernier cas. Il convient à deux genres de bâtiments civils, de bâtiments de logement et d'immeubles de bureaux, qui prennent la plus grande partie de tous les bâtiments fonctionnels.

Melikov *et al.* (2008) ont été étudié l'effet du mouvement d'air facial sur la qualité de l'air perçue à différente d'hygrométrie[4].Trente-deux testes ont participé à deux expériences d'une heure à différents niveaux de l'hygrométrie de 30% et 70%. Toutes les expositions ont été effectuées dans la chambre climatique à la température de l'air constante 26°C. Les résultats identifient que le flux d'air appliqué avec la vitesse faible améliore légèrement mais pas de manière significative l'acceptabilité de la qualité de l'air à la température de l'air à 26°C et à l'hygrométrie de 30%. Cependant, la vitesse élevée améliore de manière significative l'acceptabilité de la qualité de l'air.

Damle *et al.*(2010)ont simulé le phénomène de remous de flux d'air dans une maison familiale[5],Ce travail est adressé pour contribuer au progrès dans la détermination de l'écoulement d'air à l'intérieur des bâtiments. La circulation d'air dans de tels environnements est provoquée par la convection naturelle, les effets de vent, l'infiltration d'air ambiant et la ventilation mécanique. L'examen des travaux précédents prouve que

l'utilisation de LES pour ce genre de problèmes a été limitée aux géométries très simples. Les résultats numériques sont comparés aux données expérimentales de Blay et *al.* (1992). Yang (2012) a présenté une analyse numérique pour la qualité d'air à l'intérieur des locaux avec ventilation différente [6]. La qualité de l'air à l'intérieur des locaux et performance thermique dans le climat d'été ont été simulées. Les résultats de la simulation numérique par code Fluent ont été adaptés pour établir le modèle physique du laboratoire. Il constate que la ventilation en améliorant la qualité de l'air à l'intérieur des locaux.

Ramy (2013) a étudié les caractéristiques de flux d'air, la qualité de l'air à l'intérieur des locaux et le confort thermique dans une salle aérée avec un système de ventilation, basant sur le code CFD *AirPak* 2.0.6. Après validation du code, une étude numérique est exécutée pour une salle typique avec des dimensions de 5m×3m×3m selon une série de vitesses d'air d'approvisionnement, assure l'hygrométrie d'air de température et d'approvisionnement. La méthode finie de volume et les modèles de turbulence à zéro d'équation sont utilisés pour résoudre les équations de gouvernant l'écoulement. Le champ de la température et la vitesse moyenne d'air dans la salle sont déterminés [7].

Yogesh *et al.* (2013) ont été étudié en expérimentale le confort thermique dans une maison [8]. Il concentre sur le modèle de circulation d'air d'une pièce en termes de température et vitesse avec la quantification de confort thermique en variant l'index d'habillement. Le modèle de circulation d'air dans les deux salles d'essai, la salle de conférences d'université et le laboratoire sont étudiés dans quatre conditions ; normal, ventilé, le mouvement d'air avec ventilateur et le mouvement d'air avec ventilation naturel. L'effet de la position de climatiseur sur le modèle de circulation d'air dans les salles est également étudié. Ils sont recommandé d'utiliser le ventilateur de plafond à la vitesse modérée avec le climatiseur pour obtenir la configuration d'écoulement uniforme en ce qui concerne la température et la vitesse qui mène à économiser dans l'énergie. Le modèle de circulation d'air dépend de l'emplacement du climatiseur. Le confort thermique dépend du niveau de résistance et d'activité d'habillement. Qasim(2014) a simulé numériquement de la distribution de vitesse et de température d'air dans une salle de bureau aéré par une ventilation [9]. Le code Fluent 6.3.26 a été employé pour simuler l'écoulement à l'intérieur de la salle. Le modèle de turbulence $k-\varepsilon$ standard a été utilisé. Les résultats numériques ont été validés aux données expérimentales de la littérature, cette exposition de comparaison une bonne concordance. Deux cas principaux ont été étudiés, la salle aérée avec une source de chaleur simple et une personne et le deuxième cas avec deux sources et deux personnes. Sabah *et al.* (2014) ont analysé numériquement et expérimentale d'un flux d'air dans une salle en 3D [10]. Les

vitesse et les températures dans une salle chauffée de 20°C par une résistance électrique et aérée par un jet d'air froid de 16 °C ont été mesurés le long de huit lignes verticales. Ces mesures sont employées en même temps que des prévisions numériques correspondantes par le modèle de $k-\varepsilon$ RNG pour décrire les champs hydrodynamiques et thermiques dans la chambre. Le modèle de CFD est également employé pour étudier l'effet de la position de la bouche d'air sur le champ d'écoulement et l'énergie nette sortie due à la ventilation. Cette dernière quantité représente 48% à 63% de la puissance fournie par l'électrique résistance. Bonafacic *et al.* (2015) ont présenté une modélisation numérique des conditions de confort thermique dans un espace d'intérieur avec des sources de rayonnement solaire [11]. En utilisant le code Fluent, la modélisation numérique est employée pour analyser l'effet de différentes circulations d'air conditionné sur la distribution de la température et de vitesse d'air avec et sans source de rayonnement solaire. Comme paramètres des états de confort thermique, les vitesses de flux d'air, les températures d'intérieur avec ses gradients, et la température radiante moyenne sont analysées. Des calculs sont effectués pour une salle vide en dehors sources de chaleur internes. Quand le rayonnement solaire direct par la fenêtre pour un cas extrême de solstice d'été est inclus dans le calcul, on observe des déviations considérables des états de confort thermique, rapportant la conclusion que le rayonnement solaire doit être inclus dans des simulations numériques pour prévoir correctement des paramètres d'équilibre thermique et de confort thermique dans les espaces inclus. Prakash et Ravikumar (2015) ont établi une analyse de confort thermique et de caractéristiques d'écoulement d'air à l'intérieur des bâtiments pour une salle de bâtiment résidentiel sous l'ouverture généralisée de fenêtre placée aux murs adjacents [12]. La simulation est examinée pour assurer l'indépendance de grille et avoir la bonne validation avec des mesures expérimentales en utilisant le modèle de turbulence du $k-\varepsilon$. Dans cette étude un nouvel ensemble de stratégies sont identifiés pour localiser les ouvertures de fenêtre et le meilleur emplacement améliore le pourcentage de la basse température de 50%. Prakash (2015) a été analysé le confort thermique à l'intérieur d'une salle climatisée avec les isolations thermiques [13]. Les isolations thermiques abstraites au-dessus du bâtiment enveloppent réduisent le gain de la chaleur dû au rayonnement solaire et peut augmenter le bon et uniforme confort thermique à l'intérieur pour les occupants. La laine de couche-bois d'isolation est étendue au-dessus du toit et du mur exposé. 3% de gain d'énergie a été récupéré. En outre, la température de l'air optimale d'alimentation de le dispositif climatique pour le bon confort thermique est prévu comme dans la gamme de 299-300°K. Koduri *et al.* (2015) ont étudié en simulation numérique la circulation d'air et de

transfert de chaleur dans des salles [14], ces simulations ont été employées pour étudier la circulation d'air et la distribution de la température, dans différentes salles, l'effet de la forme de la salle sur la ventilation de l'air. Ils ont essayé d'augmenter le refroidissement de rendement optimum aux salles de différentes formes.

1.2 Objectifs du Mémoire

L'objet principal de ce mémoire de recherche consiste à améliorer le confort thermique de notre local d'étude. Ainsi, créer pour l'occupant les meilleures conditions physiologiques en (température, radiation solaire et air).

Le mémoire est structuré en quatre chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre consiste, tout d'abord, à présenter une large revue bibliographique englobant des travaux sur la qualité d'air dans une system fermé avec différent condition. Ensuite, l'objectif de la présente étude est précisé par les facteurs de tyranniser le confort thermique par cité les différents facteurs agissant sur le confort thermique dans une salle. La formulation mathématique, la physique du problème, les conditions aux limites et la méthode de résolution seront étalés dans le troisième chapitre de ce mémoire. Le quatrième chapitre est réservé à la présentation des résultats. Une conclusion générale ainsi que les travaux futurs envisagés clôturent le mémoire.

Chapitre 2

Généralité sur Confort Thermique

Introduction

Le confort peut être défini comme le degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'une maison. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre les conditions ambiantes physiquement mesurable et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception. La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu.

2.1 Le confort thermique

L'évaluation du confort thermique fait généralement recours à l'étude thermique qui permet de définir les conditions d'ambiances acceptables et de quantités d'énergie à fournir pour les équipements d'ambiance, et ce l'objectif de donner des recommandation les plus adaptées dans le domaine de l'habitat .Le calcul de la température résultante, présente un indice intégrant l'effet de la convection et rayonnement pour des vitesses de l'air peu élevées(<0.2m/s) [7]:

$$T_{ri} = \frac{T_{ai} + T_{rmi}}{2} \quad (2.1)$$

Et d'après, [15]

$$T_{rmi} = \frac{\sum_i S_i T_i}{S_i} \quad (2.2)$$

avec,

T_{ai} : température de l'air (°C) ;

T_{rmi} : Température radiante moyenne émise par l'environnement intérieure (°C) ;

T_i : Température intérieure de chaque paroi d'un local, de surface S, mesurée en (°C).

Utilisation du diagramme psychrométrique pour la détermination de la zone de confort. La zone de confort est une zone ou les conditions sont confortables pour l'homme. Ainsi, les paramètres permettant de la déterminer sont les suivant [16] :

- Température de l'air T_{ai} (°C) ;
- Température radiante moyenne des parois T_{rmi} (°C) ;
- Humidité de l'air Hr (%) ;
- Vitesse de l'air V_a (m/s).

Ajoutant à ces paramètres, ceux propres à l'habitant comme le vêtue et l'activité. Pour

déterminer ainsi la zone de confort, Olgyay [17], a élaboré un diagramme appelé « psychrométrique » ou « bioclimatique », utilisé dans les travaux destinés au calcul du confort dans l'habitat spécialement pour les zones chaudes. Sur ce diagramme, il sera établi une variation de position climatique, dont la zone de confort se trouve au centre avec les plages d'hiver et d'été indiquées séparément.

2.2. Différents facteurs agissant sur le confort thermique

2.2.1. Influence climatique

Le système climatique de notre planète est d'une grande complexité puisque, outre l'atmosphère interviennent aussi l'océan, la cryosphère (les zones recouvertes par les glaces), les mers émergées, l'eau douce et la végétation, l'élément moteur étant l'énergie rayonné par le soleil. Le soleil est donc la source de tout réapprovisionnement énergétique quotidien qui crée le vent, la pluie et réchauffe la terre. Ces paramètres climatiques avec le soleil constituent des éléments essentiels à considérer en toute phase amont de conception des maisons. Ce ci nécessite en premier lieu d'établir une étude détaillée de chaque paramètre à part.

a- Les radiations solaires

L'intensité des radiations solaires dépend de l'altitude du lieu, de la saison, de l'heure, du vent, de la quantité de vapeur d'eau, et des particules en suspension. On distingue les radiations directes, diffuses et réfléchies. Les radiations solaires directes sont la source la plus importante d'échauffement de l'air et des surfaces. Durant l'hiver, le soleil est très bas dans le ciel même à midi et ses rayons sont proches de l'horizontal. Ils frappent les façades sud des constructions et (proche du sud) en milieu de journée avec un faible angle d'incidence. Ces façades reçoivent donc plus d'irradiations solaires qu'en surface horizontale, elles sont favorables au placement de baies vitrées qui pourront capter ces apports solaires bénéfiques. Alors qu'en été une surface horizontale est fortement exposée à l'irradiation solaire en milieu de journée à cause de la quasi-verticalité des rayons.

Les surfaces verticales sud (et proche du sud) reçoivent une irradiation très modérée. Mais en milieu de matinée et l'après midi, lorsque le soleil se trouve à l'est puis à l'ouest, ses rayons frappent de front les surfaces verticales est et ouest qui doivent en être protégées

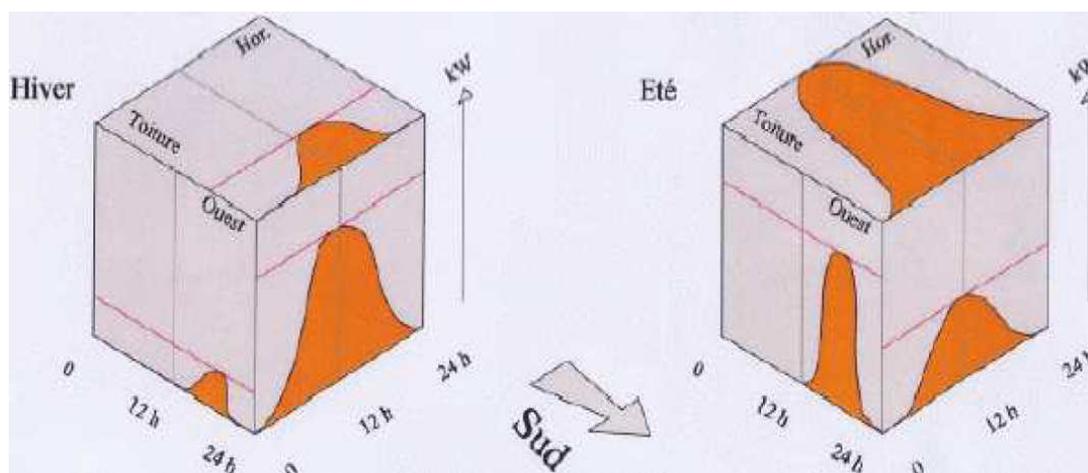


Fig. 2.2- Puissance solaire reçue en hiver et en été sur les surfaces horizontales et verticales orientées sud et à l'ouest [17]

b- Température de l'air

La température dépend d'abord des apports solaires, mais aussi de la pression atmosphérique, de la teneur en eau, des échanges possibles avec les corps environnants (sol par exemple). Elle peut être modifiée avec le changement d'altitude, où elle décroît en moyenne de 0.65°C par 100m de dénivelé. [18]

En architecture, on utilise surtout les températures moyennes mensuelles et les amplitudes de températures extrêmes. L'usage le plus fréquent est celui du calcul de degrés heures ou degrés jours pour l'évaluation des charges de chauffage ou de climatisation d'un édifice.

c- Humidité

L'air est une éponge dont l'avidité croît avec la température. Si la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air (en provenance des surfaces d'eau et de la transpiration des êtres vivants) est très variable, elle ne peut cependant dépasser un certain maximum. Celui-ci étant fonction de la température. Le plus souvent, il y a moins de vapeur d'eau dans l'air que ces quantités maximales. Le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la quantité maximale qu'il peut contenir à une température donnée s'appelle l'humidité relative, exprimée en %. On distingue aussi l'humidité absolue en g/m^3 .

Une autre façon d'évaluer l'humidité de l'air est de calculer le point de rosé. Exprimé en ($^{\circ}\text{C}$), ce dernier est la température à laquelle la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air est égale à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à cette température.

Les valeurs de l'humidité relative nécessaires pour le concepteur sont les moyennes maximales et minimales mensuelles ainsi que les valeurs extrêmes.

2.2.2 L'orientation

L'orientation des bâtiments détecte la qualité de l'habitat en affectant son ambiance intérieure de deux manières et ce par la régulation de deux facteurs climatiques distinctes, le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et pièces orientées selon différentes directions et la ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction.

Les différentes orientations des façades d'un bâtiment se présentent comme suit ; l'orientation sud est généralement génératrice de chaleur et de lumière, les espaces orientés vers cette direction seront les pièces de vie consacrées aux activités de jour, les pièces peu utilisées et à faible température sont à placer de préférence côté nord de l'habitat, il s'agit de zones tampons. Elles sont moins utilisées, mais jouent un rôle protecteur vis-à-vis du froid. La mise en place de ces zones permet de réduire jusqu'à 30 % la déperdition thermique totale. A l'est et au sud-est, les chambres profitent du soleil levant, source d'éblouissement lumineux. A l'ouest et au sud-ouest, ces pièces bénéficient du soleil couchant, mais elles subissent des surchauffements difficiles à contrôler en fin de journée [19].

2.2.3 La ventilation naturelle

La gestion du confort d'été passe par la possibilité de ventiler avec de l'air frais une habitation. La capacité de rafraîchissement est disponible comme de jour ou de nuit. En hiver, cette option n'est valable que si un jour fait bon pour aérer la maison. L'air mobile est très favorable à des déperditions de chaleur. Par conséquent, l'impact de la ventilation sur un bâtiment n'est pas négligé, car elle augmente les pertes par convection [20].

Dans les climats chauds elle favorise la ventilation nocturne, car les températures à l'intérieure sont très hausses et l'air extérieur est frais. A Ghardaïa, les températures journalières atteignent en moyenne 40 à 45°C, la variation mensuelle enregistrée sur 30 ans (depuis 1977 à 2006) varie entre 20.8°C et 23.5°C, et le gradient de température entre le jour et la nuit avoisine 15°C [21].

2.2.4 Dimension des ouvertures

Les parois transparentes de l'enveloppe d'une habitation participent activement dans les échanges thermiques entre les environnements intérieurs et extérieurs des bâtiments (apports et déperditions thermiques). Toutefois, une attention particulière quant aux dimensions de ces ouvertures est recommandée selon l'orientation et la conception. En

effet, les vitres verticales orientées au sud présentent le double avantage d'être très bien exposées au soleil d'hiver, et faciles à protéger du soleil d'été. Pour les vitres orientées à l'est ou à l'ouest, il n'est pas souhaitable de leur donner de grandes dimensions au seul plan d'énergie solaire, car elles reçoivent très peu d'énergie solaire en hiver. Il faut aussi éviter de surdimensionner les fenêtres orientés ouest pour risque de surchauffe. On ne dimensionne les ouvertures est et ouest qu'en fonction de la vue et de l'éclairage. En été, elles sont, par contre, largement exposées. Les ouvertures vitrées orientées au nord, sont celles qui reçoivent le moins d'énergie solaire, car, c'est souvent du nord que viennent les vents les plus froids, donc ses ouvertures doivent être réduites. Mais à cause du problème de surconsommation en éclairage artificiel il faut éviter de trop réduire ces ouvertures [22].

2.2.5 La couleur

Du point de vue thermique, la teinte des couleurs influence fréquemment le comportement thermique des murs extérieurs par conséquent, sur le rendement énergétique de l'habitat. Des essais poussés ont montré que les températures superficielles dues à l'action directe des rayons du soleil varient fortement en fonction de la couleur. Par conséquent, il faut un choix judicieux des matériaux et de leur couleur au moment de la construction ou de la réhabilitation thermique [23].

2.2.6 Isolation thermique

Pour avoir un confort thermique, une isolation thermique est plus que nécessaire. En hiver, l'isolation donne une bonne sensation de confort tout en limitant sa note de chauffage. En été, le confort sera obtenu en associant les atouts de cette isolation à une forte inertie thermique de la maison ainsi la température intérieure sera maintenue stable et la plus fraîche possible sans recours à la climatisation.

En effet, d'après [7], une maison chauffée perd continuellement une partie de sa chaleur. Les grosses fuites de chaleur s'effectuent par les surfaces : toiture, murs et vitrages. Ces points sensibles d'une habitation peuvent générer jusqu'à 60 % des déperditions en chaleur, les joints entre les parois laissent également fuir la chaleur appelée « ponts thermiques 3 ». Ces derniers peuvent participer de 5 à 25 % à la fuite de chaleur.

Les déperditions thermiques peuvent être surfaciques par transmission à travers les parois opaques et vitrages, linéiques à travers tous les angles de l'habitat et ponts thermiques ou encore des déperditions par renouvellement d'air.

2.2.7 Inertie thermique

Dans les matériaux de construction couramment utilisés, l'inertie thermique d'un bâtiment se juge en première approximation par la masse interne du matériau mis en œuvre. En été, plus l'inertie thermique de l'habitation n'augmente, plus la température maximale atteinte est faible et plus les variations de température jour/nuit sont faibles. L'inertie thermique permet donc de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. L'utilisation de matériaux lourds, contribue à donner au bâtiment une forte inertie [24]. Elle évite les surchauffes et aide à la stabilisation de la température. En hiver, l'inertie thermique joue également un rôle important, principalement dans le cas de chauffage intermittent. Le refroidissement est plus lent dans un local dont les parois sont lourdes. Les coupures de chauffage, visant à faire des économies d'énergie, sont d'autant moins intéressantes que la structure est plus inerte, car plus lourde.

2.3 Les caractéristiques principales de l'isolation thermique

Le coefficient de conductivité thermique (λ) d'un matériau caractérise sa capacité à transmettre la chaleur par conduction. Ainsi, plus λ est grand, plus le matériau est conducteur de chaleur ; et plus λ est petit, plus le matériau est isolant thermiquement. En régime permanent, les coefficients d'échanges superficiels prennent des valeurs conventionnelles selon la position de la paroi [27]. Ce qui n'est pas le cas pour le régime transitoire où ces coefficients tiennent compte des paramètres de facteurs de forme dus à l'interaction entre toutes les surfaces internes à l'habitat avec un échange par rayonnement infrarouge et de leurs émissivités. Ils dépendent aussi des émissivités et d'absorptivités de la voûte céleste et du sol par rapport à la surface externe. Les deux coefficients sont donnés en détail, dans le dernier chapitre qui fait objet d'une étude au régime dynamique et réel.

2.4 Type d'isolation

Il existe trois façons d'isoler une habitation, Isolation en double cloison, isolation de l'intérieur et isolation de l'extérieure. Dans une habitation existante, le choix est évidemment porté sur l'isolation de l'intérieur ou de l'extérieur [26].

2.4.1 Isolation de l'intérieur

Elle présente l'avantage d'être maîtrisée par tous les intervenants du bâtiment, mais elle est loin d'être la plus courante. Les isolants intérieurs plus ils sont performants, plus l'influence relative des ponts thermiques s'accroît. Rappelons aussi qu'une isolation

intérieure, même performante, présente toujours une faible inertie thermique.

2.4.2 Isolation de l'extérieur

L'isolation de l'extérieure est la plus intéressante, puisqu'elle présente des avantages multiples et importants:

- L'isolation extérieure permet de renforcer la protection des murs contre les dégradations du temps et les intempéries.
- Elle permet de supprimer la majorité des ponts thermiques, tels que : abouts de plancher ou de refends, encadrements de baie (avec certaines précautions), etc.
- Elle protège les gros œuvres contre certaines contraintes thermiques et limite les risques de condensation dans la maçonnerie à l'intérieur du volume chauffé. Ceci améliore considérablement le confort thermique de l'habitation qu'elle que soit la saison.
- Elle permet de placer les murs porteurs (lourds) du côté intérieur et donc de renforcer l'inertie thermique du logement, source de confort pour les occupants, car les murs lourds régulent la chaleur et l'humidité. En hiver et demi-saison, ces murs intérieurs éclairés par le soleil accumuleront ces rayonnements pour les diffuser en soirée. En été, si vous ventilez bien la maison durant les heures fraîches de la nuit, ces murs lourds restitueront cette fraîcheur dans la journée.
- L'isolation par l'extérieur est beaucoup plus facile à réaliser par soi-même que l'isolation par l'intérieur, car, les panneaux isolants pour l'extérieur sont légers et il suffit de les poser bien bord à bord. Il est préférable de choisir des matériaux isolants pouvant être directement crépis. Toutefois, la pose d'un crépi sur un isolant extérieur est plus technique que sur un mur maçonné.
- Elle a aussi l'avantage de ne pas modifier les surfaces habitables.

Entre une maison faiblement isolée et une maison très bien isolée, le coût du chauffage peut être divisé par 3 ou par 4. Sachant que le coût d'une isolation est généralement amorti entre trois et cinq ans.

Chapitre 3

Modèle Mathématique

3.1 Description du Problème

On se propose d'étudier un cas tridimensionnel de transfert de chaleur, circulation de l'air et de l'humidité dans une salle. La modélisation numérique est employée pour analyser l'effet de différentes cornières de circulation d'air sur la distribution de la température et de vitesse d'air dans des conditions standard, et ces effets sur le confort thermique dans la salle. Comme paramètres des états de confort thermique, les vitesses de flux d'air, les températures d'intérieur avec ses gradients, et radiation solaire. Des processus physiques sont modélisés utilisé le code Fluent 6.3.26. Des calculs sont effectués pour une salle vide (Figure 3.1) de longueur 5 m, largeur 3 m et hauteur 2.6 m.

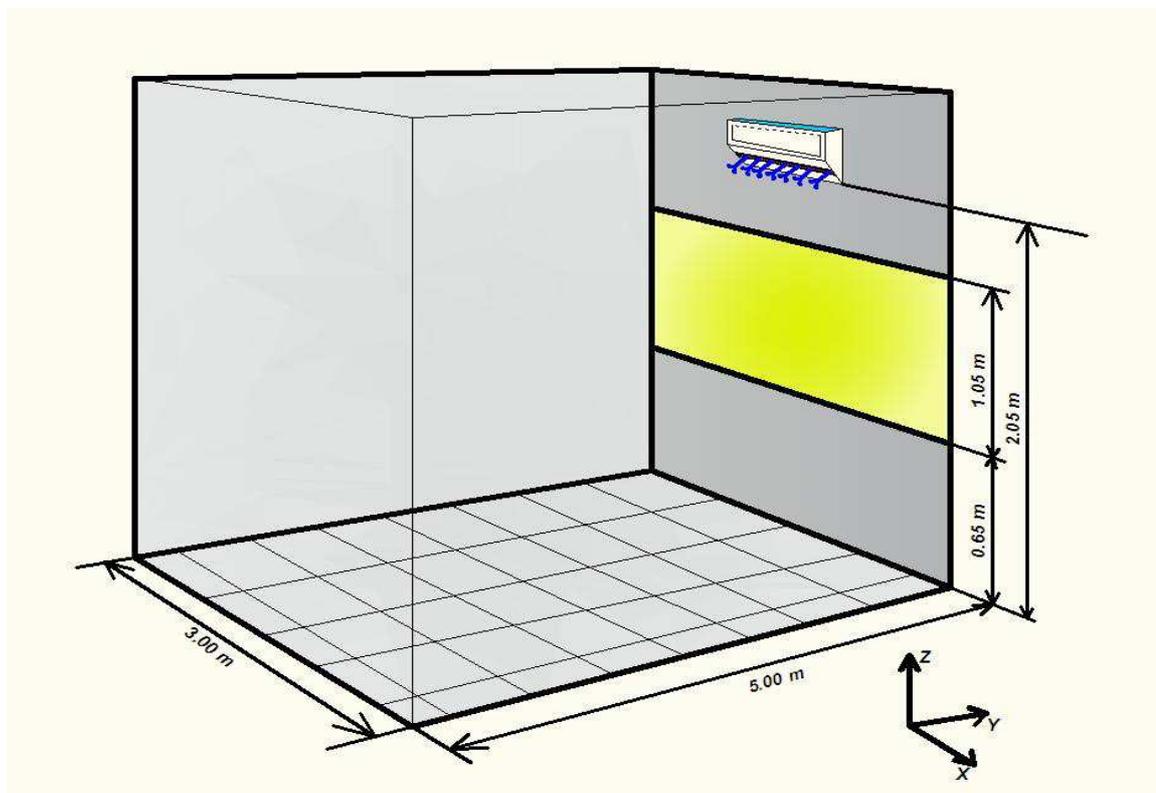


Fig. 3.1- domaine de calcul

Cette dernière implique certaines hypothèses simplificatrices. Les hypothèses utilisées souvent dans la qualité d'air sont énumérées comme suit :

- Présence de source de chaleur (climatiseur),
- les propriétés thermophysiques du fluide sont constantes et sont évaluées à la température de référence,
- l'écoulement est considéré 3D et stationnaire,

- la densité du fluide, quant à elle, suit l'hypothèse de Boussinesq, la dissipation visqueuse est négligée,

3.2 Mise en Equations

Les équations régissant l'écoulement sont les équations de continuité, de Navier-stokes et l'équation d'énergie, qui expriment, respectivement, la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

Les champs de vitesses et de températures issues de ces équations peuvent être utilisés pour évaluer les paramètres de transfert de chaleur (nombre de Nusselt).

3.2.1 Équation de continuité

En considérant l'hypothèse d'un fluide incompressible, le principe de la conservation de la masse mène à l'équation de continuité. Pour un écoulement à deux-dimensions d'un fluide incompressible, l'équation de continuité se réduit à :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3.1)$$

3.2.2 Équations de Navier-Stokes

Le bilan de la quantité de mouvement aboutit, pour un écoulement 3D stationnaire, aux équations régissant le mouvement du fluide dans les directions x,y,z:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \rho (T - T_0) \quad (3.2)$$

3.2.3 Equation d'énergie

Le principe de conservation de l'énergie donne l'équation d'énergie suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\rho a + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial q_r}{\partial x_j} \quad (3.3)$$

3.3 Conditions aux Limites

Ce système d'équations différentielles est fermé à l'aide de conditions aux frontières appropriées. En plus du choix de la géométrie du confinement, il est nécessaire de fixer les conditions aux limites. Les conditions aux frontières représentatives du problème considéré dans cette étude sont les suivantes :

- **Frontières hydrodynamiques** : On impose sur les frontières de la salle des conditions d'imperméabilité et de non glissement.
- **Frontières thermiques** : Les six parois sont supposées adiabatiques.

3.4 Modèle de Turbulence

Les écoulements turbulents sont des phénomènes assez complexes. Un mouvement turbulent entièrement développé est caractérisé par des tourbillons de tailles différentes. Bien qu'il soit théoriquement possible d'appliquer directement les équations de conservation (équations (3.1) à (3.3)) au domaine entier de l'écoulement, il est difficile de le réaliser dans la pratique. Pour créer un modèle numérique utilisable dans un domaine d'écoulement turbulent, il est nécessaire de représenter le mouvement turbulent du fluide en quantités moyennes des variables et de leurs fluctuations. Les modèles basés sur des quantités moyennées peuvent être utilisés sur des maillages d'une densité raisonnable, par conséquent, un coût de calcul raisonnable.

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguant par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on parle ainsi de modèles de turbulence à zéro, une ou deux équations. Il existe également des méthodes de résolution plus complexes et plus onéreuses en ressources informatiques : Simulation Numérique Directe (DNS, pour Direct Numerical Simulation) et la simulation des grandes échelles (LES, pour Large-Eddy-Simulation).

Une synthèse de la bibliographie relative à la simulation de la convection naturelle turbulente révèle que le modèle de turbulence k - ε standard est largement adopté. A cet effet, ce modèle est utilisé dans la présente étude pour simuler les effets de la turbulence.

Les équations standard de l'énergie cinétique turbulente k et de son taux de dissipation ε ont respectivement la forme suivante (Fluent, 2003):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon + S_k \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.5)$$

La viscosité turbulente est obtenue à partir de k et ε par la relation suivante :

$$\nu_t = C_f \frac{k^2}{\mu \varepsilon} \quad (3.6)$$

Le terme de production de pression P_k est calculé par l'expression suivante:

$$P_k = v_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

Le terme de flottabilité G_k est donné par:

$$G_k = -g\beta \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (3.8)$$

Les termes de sources $E_\varepsilon, S_\varepsilon$ peuvent être déterminés par les formules suivantes :

$$E_\varepsilon = 2v_t \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \right] \quad (3.9)$$

$$S_\varepsilon = 0.83 \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_1 y} - 1 \right) \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_1 y} \right) \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.10)$$

Les derniers termes dans les équations sont employés pour modéliser l'effet de flottabilité.

Les valeurs des diverses constantes dans le modèle k - ε sont données dans le Tableau (3.1):

Tableau 3.1. Coefficients empiriques du modèle k - ε standard dans Fluent 6.3

C_1	C_2	C_μ	σ_k	σ_ε
1.44	1.92	0.99	1.0	1.314

3.6 Résolution Numérique

La résolution numérique des équations a été effectuée sur une configuration tridimensionnelle par la méthode des volumes finis à l'aide du logiciel *CFD* Fluent 6.3.26. Le maillage utilisé a été réalisé sur Gambit 2.2.30. Le maillage a été resserré près des parois et près de la source de chaleur (présence de couches limites avec forts gradients de vitesse et de température).

Le maillage utilisé est réalisé sur le Gambit par bloc de 766,535 cellules, plusieurs maillages en été testé ont termes de vitesse près de la source.

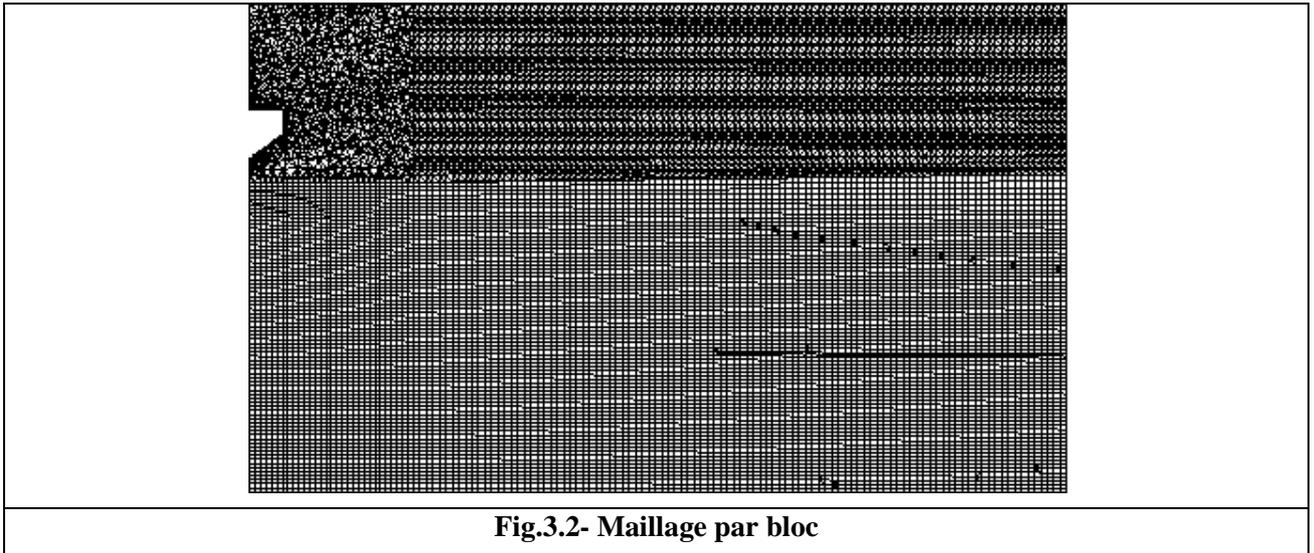


Fig.3.2- Maillage par bloc

La méthode numérique des Volumes Finis consiste à discrétiser le domaine géométrique de calcul en sous-domaines ou volumes de contrôle dont les faces suivent les lignes de coordonnées. Son principe est très simple, initialement développé dans le cas des écoulements compressibles.

Il repose sur le théorème de la divergence qui consiste à exprimer la conservation des flux d'une variable dans son volume de contrôle délimité par sa surface, et contenant un point de discrétisation de l'inconnue et sur ce volume de contrôle les équations de transport sont intégrées.

Cette formulation intégrale s'apparente par certains aspects à la formulation variationnelle de la méthode des éléments finis, mais aussi à celle des différences finies (de par sa discrétisation par rapport aux points voisins).

Fluent permet de choisir le modèle de discrétisation pour les différentes équations régissantes. Un solveur « pressure based » qui calcule chaque équation séparément est choisi. Pour les différents cas simulés, les critères de résolution et les coefficients de sous-relaxation utilisés sont montrés sur la figure 3.3. A noter que les facteurs de sous relaxation doivent être ajustés pour les tests turbulents.

Généralement la pression est inconnue et on ne dispose pas d'une équation évidente pour sa détermination. La méthode utilisée pour résoudre ce problème repose sur l'idée que, lorsque le champ de pression correct est injecté dans l'équation du mouvement, le champ de vitesse résultant doit satisfaire l'équation de continuité.

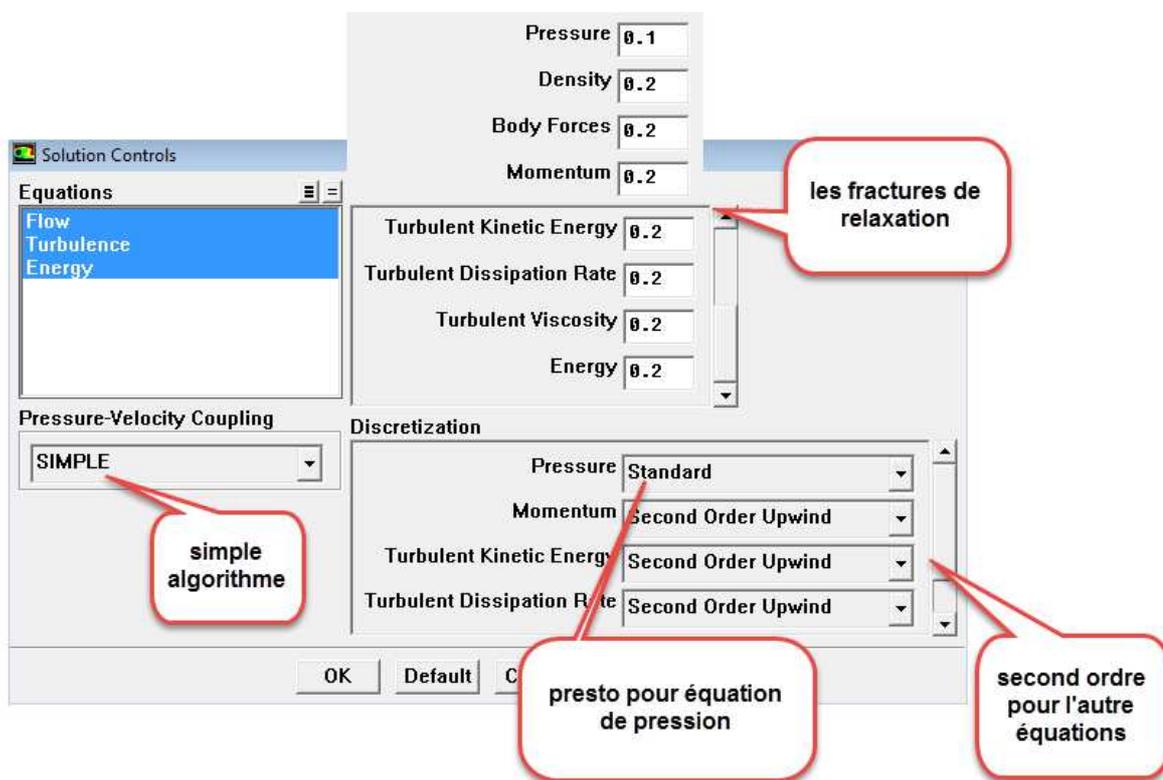


Fig. 3.3 - Facteurs de sous relaxation et types de discrétisation utilisés

Chapitre 4

Résultats et Discussions

Introduction

Le transfert de flux d'air, de la chaleur et de l'humidité à travers une source de froid (climatiseur) dans une salle vide a été modélisé dans le chapitre 3 à l'aide d'une condition aux limites de la paroi adiabatique. Ce chapitre présente les résultats de plusieurs conditions de l'air froid injecté par le climatiseur (débit, température et l'humidité relative). Les détails des différentes conditions aux limites sont précisés dans un plan médian horizontal.

Les résultats sont analysés par des distributions de champs de vitesse, de température et d'humidité relative dans une section vertical à mi-salle (Figure 4.5), pour monter l'effet de la source froide sur le long de la salle.

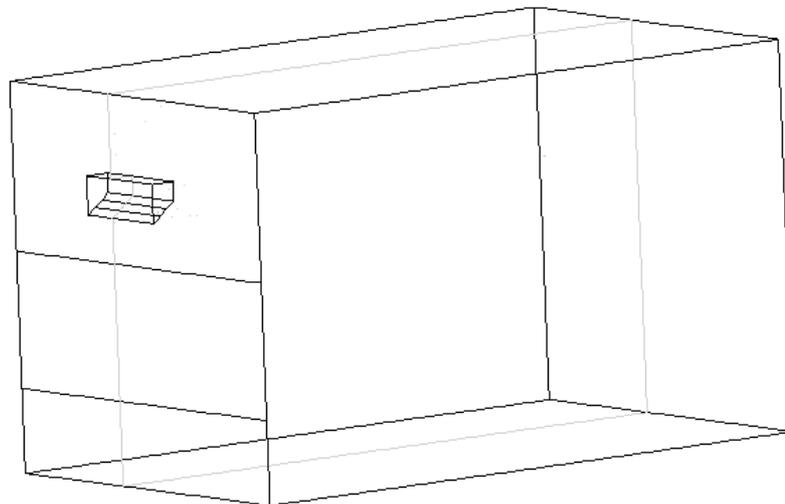


Fig. 4.1- Localisation du plan médian dans la salle

4.1 Champ de température

Les contours de température pour un débit d'air minimal et maximal injecté par un climatiseur de 9000 BTU avec plusieurs angles sont présentés dans cette section.

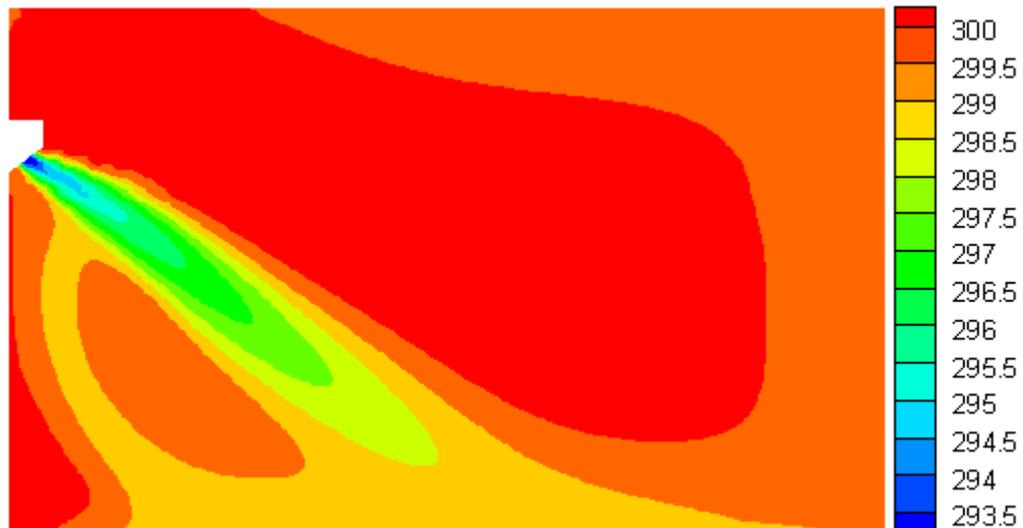
4.1.1 Effet du débit sur le champ de la température

La Figure (4.2) montre la distribution de la température totale dans un plan médian de la salle climatisée.

Les gradients de température se produisent dès l'injection d'air par le climatiseur. La répartition des profils de la température globale dans la salle n'a pas beaucoup changé avec l'augmentation du débit, cependant, ces profils sont changés quantitativement. Les couches

isothermes sont quasi parallèles lors de l'augmentation du débit d'air avec une formation d'une boucle chaude près de plafond de la salle.

a.



b.

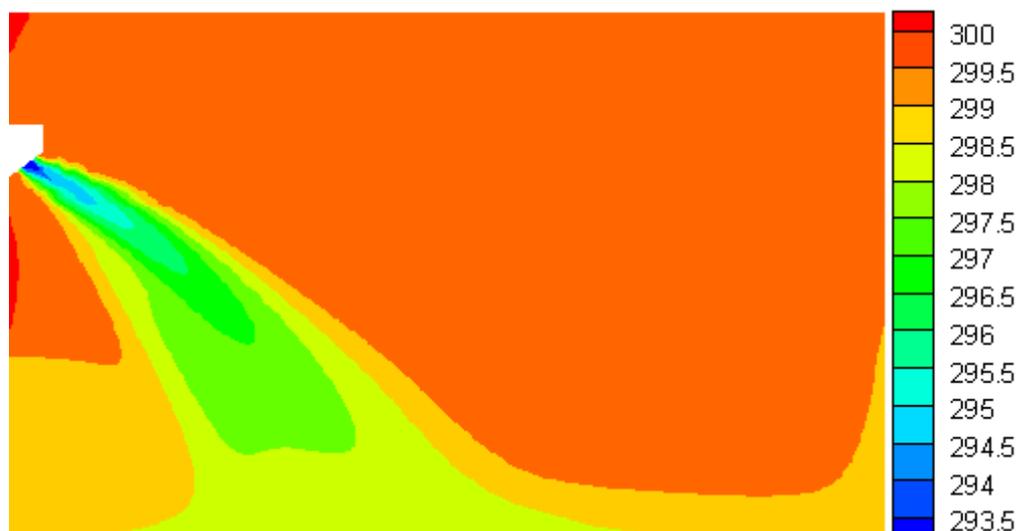


Fig.4.2 -Contours des températures avec un angle d'injection 30°, *a.* $\dot{m}=0.2$ g/s ; *b.* $\dot{m}=0.5$ g/s

4.1.2 L'effet d'angle d'injection d'air sur le champ de la température

L'effet de l'angle d'inclinaison de jet d'air froid la température ambiante est étudiée pour un débit égal 0.5 g/s en utilisant les angles de 15°, 30° et 45°. Les contours de la température au plan médian sont comparés à la figure 4.3.

Les contours de température une efficacité de refroidissement de la salle avec l'augmentation d'angle d'injection. Deux couches chaudes sont formées pour un angle de 15°, la couche bas s'écrasé avec l'augmentation d'angle d'inclinaison.

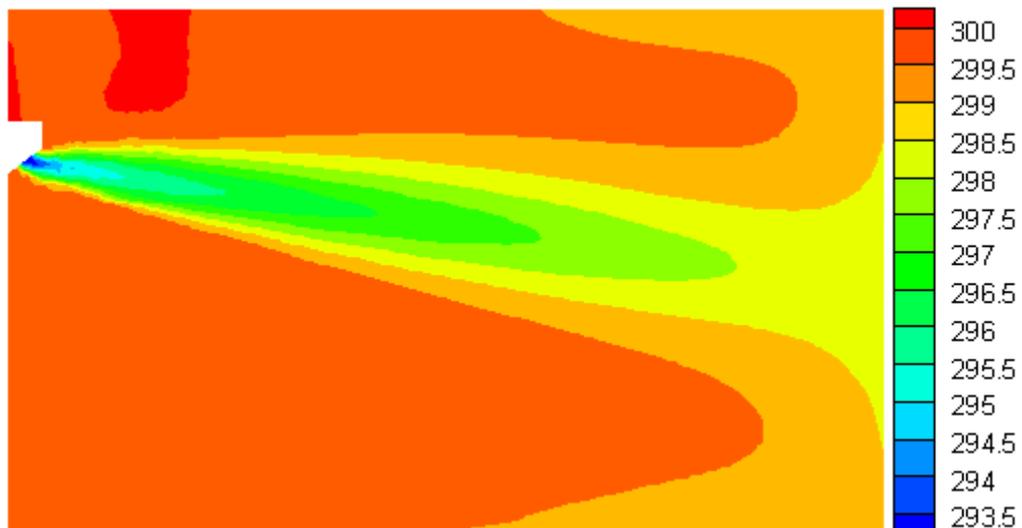
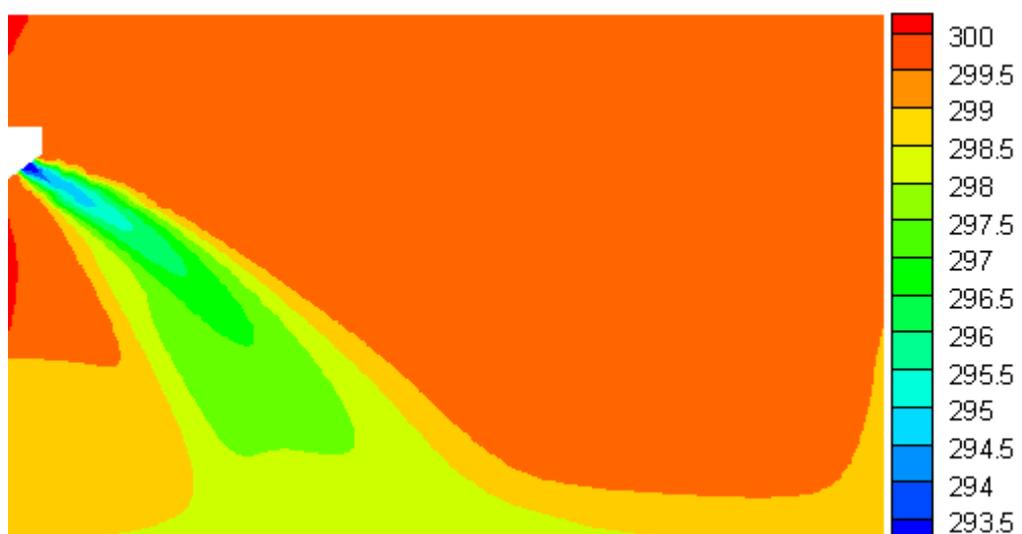
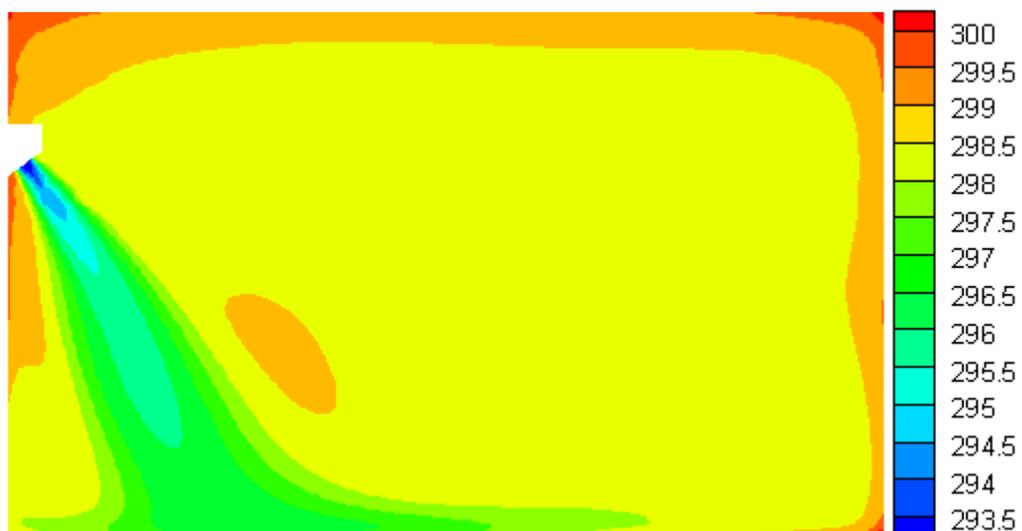
a.*b.**c.*

Fig.4.2 -Contours des températures avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : *a.* 15° ; *b.* 30° ; *c.* 45°

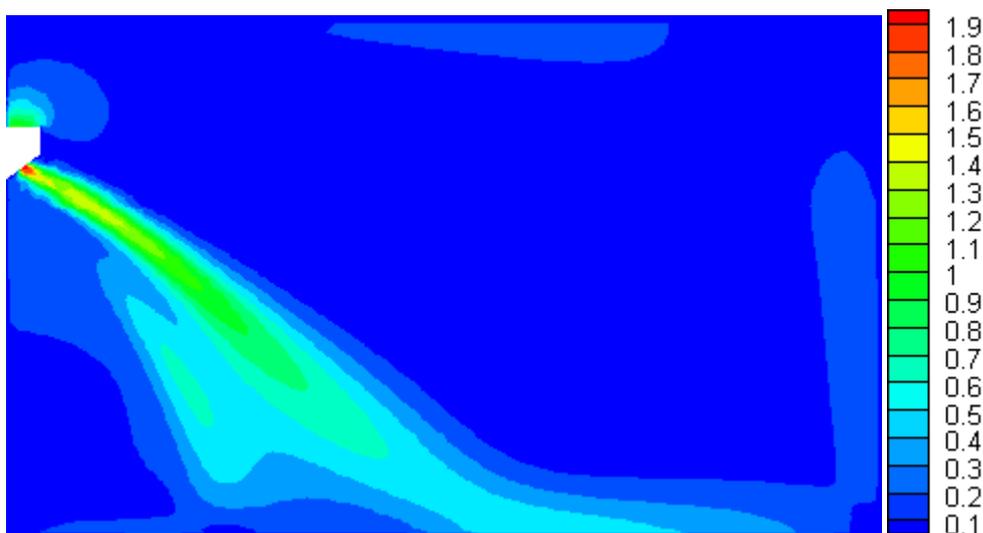
4.2 Champ de vitesse

Les contours de vitesse au centre de la pièce sont comparés en variant le débit et l'angle d'injection.

4.2.1 Effet du débit sur la vitesse

Dans la partie supérieure, la vitesse magnitude est très faible (≈ 0.1 m/s) en raison présence de la paroi. Des boucles de recirculation de l'air en bas et en haut de salle. Une similitude est remarquée entre les contours de la température et la vitesse.

a.



b.

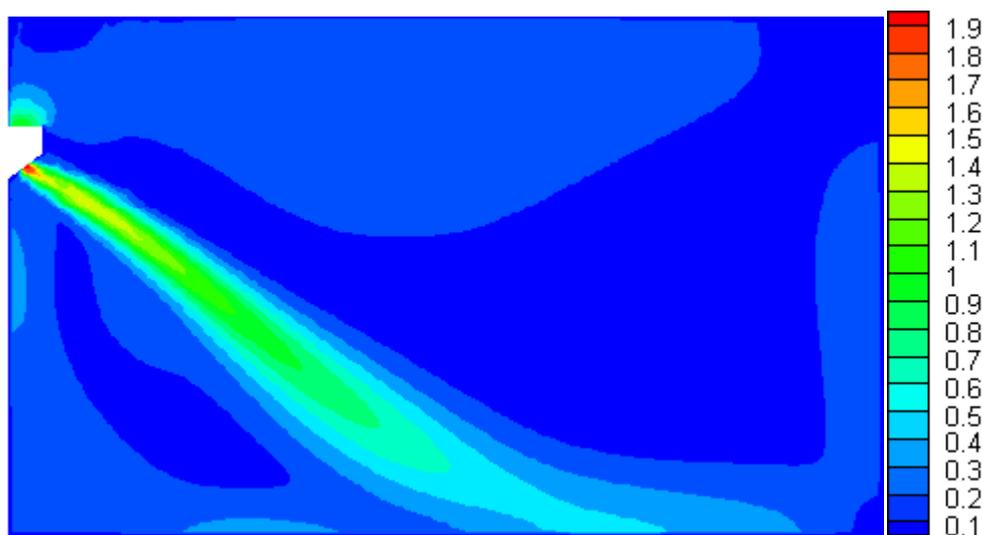
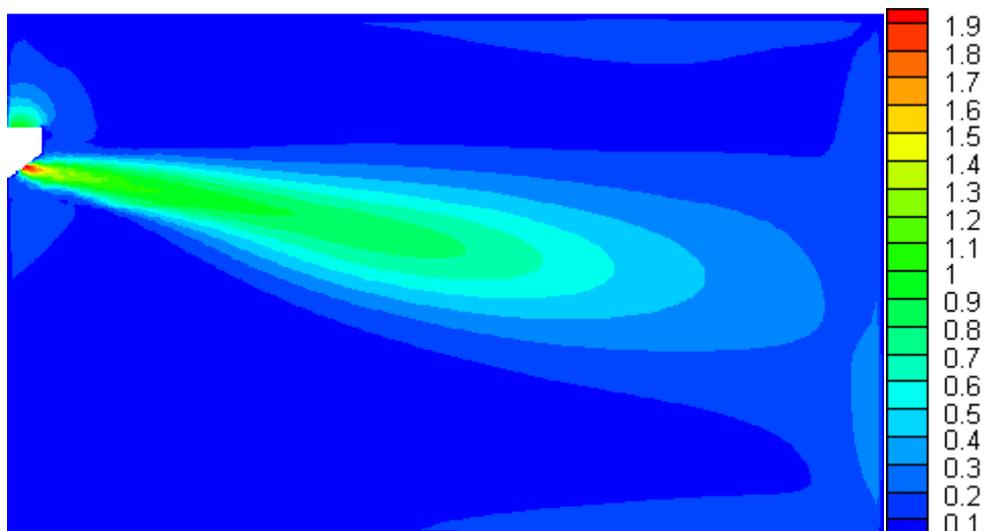


Fig.4.3 -Contours des vitesses avec un angle d'injection 30° , a. $\dot{m}=0.2$ g/s ; b. $\dot{m}=0.5$ g/s

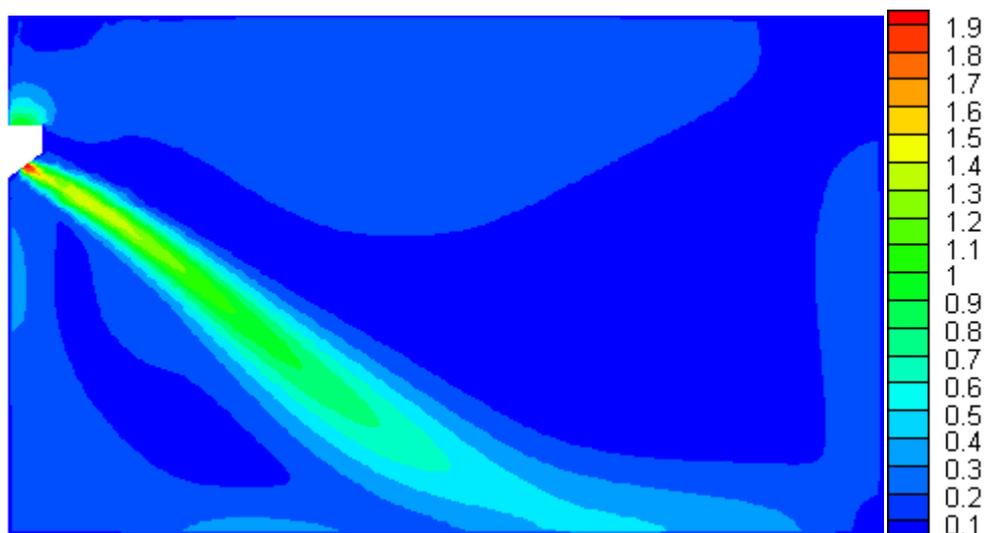
4.2.2 Effet d'angle d'inclinaison sur la vitesse Figure 4.5 représente contours de vitesse avec un débit de $\dot{m} = 0.5$ kg/s et des angles de, 30° et 45° , et, d'après ce résultat, on remarque

clairement que les valeurs de vitesse sont très faibles au voisinage de vitre dans le premier contour ($\alpha=15^\circ$).

a.



b.



c.

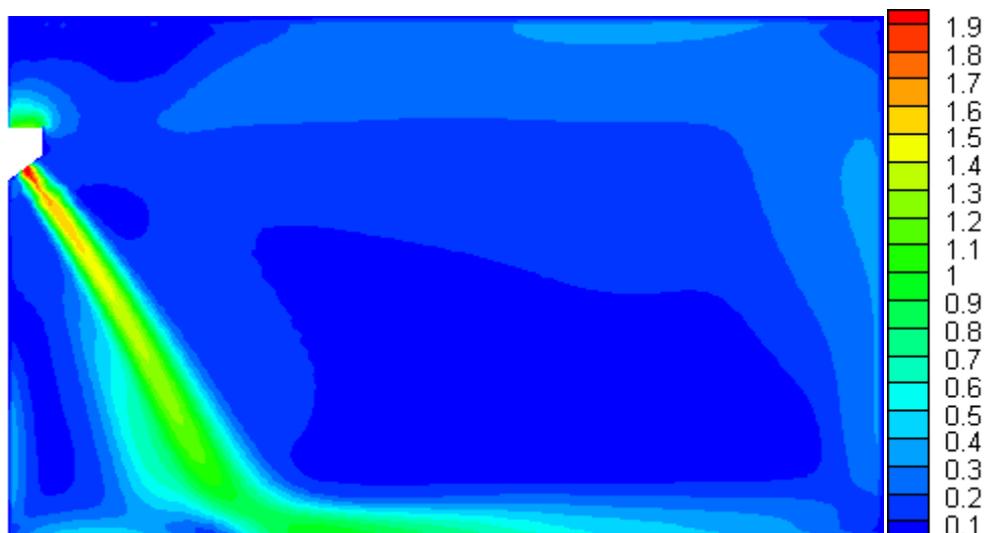
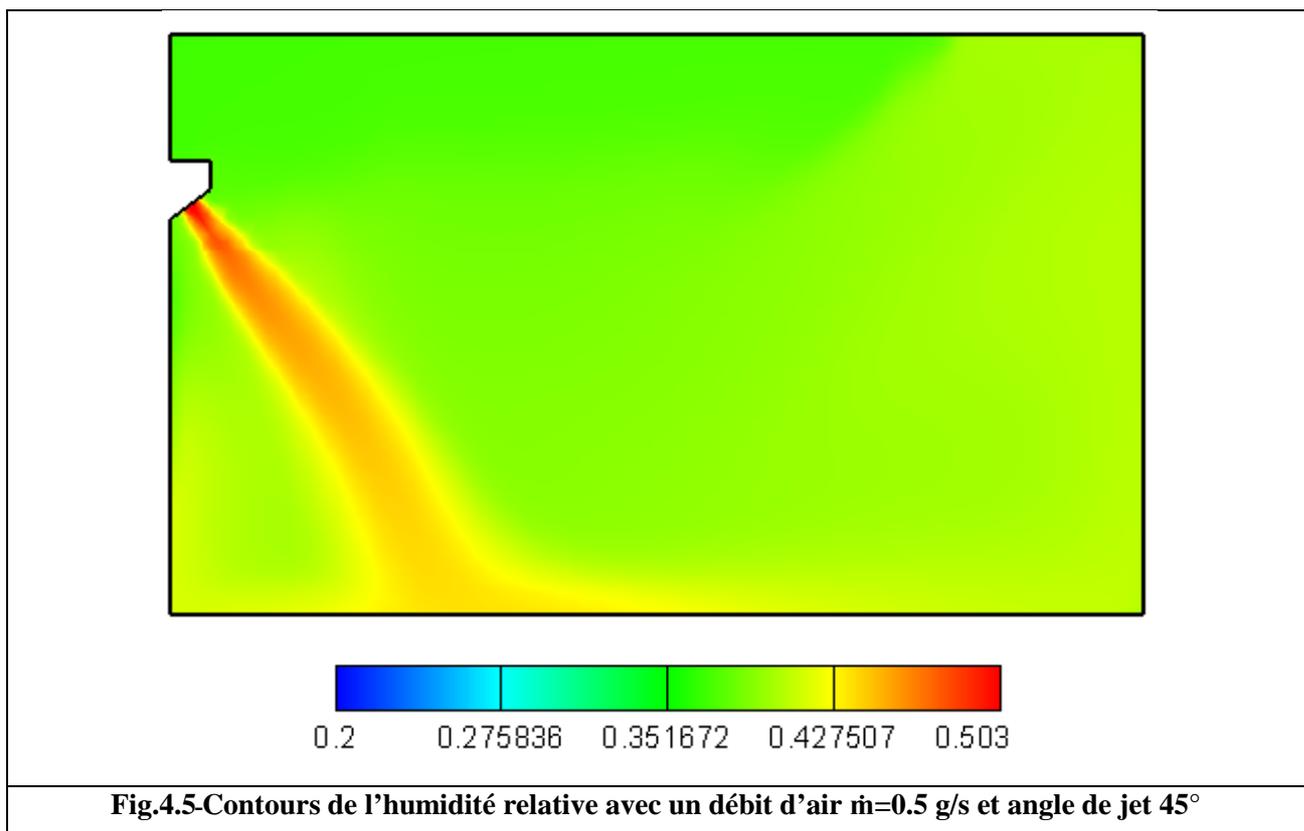


Fig.4.4 -Contours des vitesses avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : a. 15° ; b. 30° ; c. 45°

4.3 Humidité relative

La figure (4.5) présente le contour de l'humidité relative pour un débit d'air égal 0.5 kg/s et un angle de 45°, l'humidité relative à la sortie de climatiseur est de 50%. Le champ de l'humidité est faible en haut de la salle à cause de l'écart de la densité entre air pure et l'humidité.



Conclusion générale

Le confort thermique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable.

L'étude du confort thermique a d'abord été abordée par approche de l'équilibre thermique. Celle-ci relie la sensation thermique à quatre paramètres physiques et à deux paramètres personnels; d'une part, la température ambiante et rayonnante, l'humidité relative et le mouvement de l'air, et d'autre part, l'activité ainsi que l'habillement de l'occupant. Suit à cette approche, modèle adaptatif a mis en relation la sensation thermique à la température extérieure afin de prévoir la température de confort.

Dans ce mémoire, on a présenté une étude numérique de la qualité d'air dans une salle avec un transfert de flux d'air, de la chaleur et de l'humidité à travers une source de froid (climatiseur) dans une salle vide. Les simulations numériques sont effectuées pour le changement d'angle d'inclinaison de jet d'air froid (15° , 30° et 45°), un débit égal 0.2 g/s et 0.5 g/s, la température et la vitesse distribuée dans la salle du part et d'autre part en a présenter une simulation avec humidité relative à la sortie de climatiseur de 50%.

Les résultats qui en a obtenues montrent l'effet de l'angle d'inclinaison, le débit, influe sur la vitesse et la température de la salle ainsi l'humidité. On conclue les paramètres physiques auparavant mentionné à influencer sur le confort thermique, si le débit augmente la vitesse et la température sont directement proportionnelle avec lui, d'autre part l'humidité une importance rôle sur le confort thermique de la salle.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES & TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



SIMULATION NUMERIQUE DE LA QUALITE D'AIR

DANS UNE SALLE

*Mémoire de master académique
en «Installations Energétiques»*

Réalisée par : GHABI BENDAHMENE

Encadreur: Dr. BAGHDAD. M

Membres du jury:

Mr. ZEBAR. M (Président)

Mr. TRARI . T (Examineur)

28/09/2016

Tissemsilt - 2015/2016

Introduction

La consommation d'énergie dans les bâtiments est une question importante devenue une grande préoccupation pendant les dernières décennies.

La plupart d'énergie de bâtiment est employée pour le chauffage des locaux et le refroidissement.

Le confort thermique peut être défini comme le degré de désagrément ou bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment.

Quel est les paramètres de confort thermique dans une salle structuré ?

Dans ce cas, il y a des paramètres contrôle le confort thermique dans cette salle:

- Effet du débit sur le champ de la température,
- L'effet d'angle d'injection d'air sur le champ de la température,
- Effet du débit sur la vitesse,
- Effet d'angle d'inclinaison sur la vitesse,
- Humidité relative

L'objectif de travail

L'objet principal de ce mémoire de recherche consiste à améliorer le confort thermique de notre local d'étude. Ainsi, créer pour l'occupant les meilleures conditions physiologiques (température, Humidité relative et air).

Le travail est divisé en quatre chapitres comme suit :

« Introduction et analyse bibliographique »

« Le confort thermique »

« *Modélisation et Mise en Equations* »

« *Résultats et Discussions* »

« *Conclusion générale* »

L'étude de **la qualité d'air** dans un system fermé a fait l'objet d'un grand nombre de travaux numériques et expérimentaux. L'intérêt de ses études conclure **l'influence** de paramètre environnement dans un bâtiment sur **le confort**.

Başkaya et Eken (2004) ont établi une étude numérique sur la circulation **d'air à l'intérieur** d'une salle bureau dans des diverses conditions de ventilation.

Liuetal. (2006) ont été simulée **flux d'air** et analyse d'énergie avec le chauffage par rayonnement et la ventilation naturel .

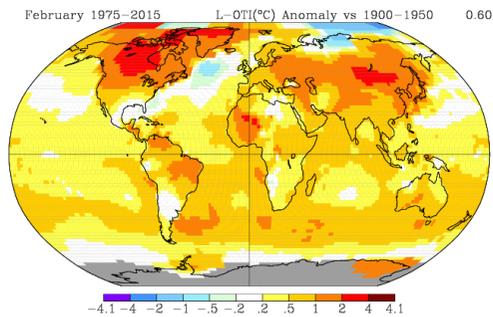
Meliko *vetal.* (2008) ont été étudié l'effet du mouvement d'air facial sur la qualité d'air perçue à différente d'hygrométrie

Ramy (2013) a étudié les caractéristiques de flux d'air, la qualité de l'air à l'intérieur des locaux et le confort thermique dans une salle aérée avec un système de ventilation.

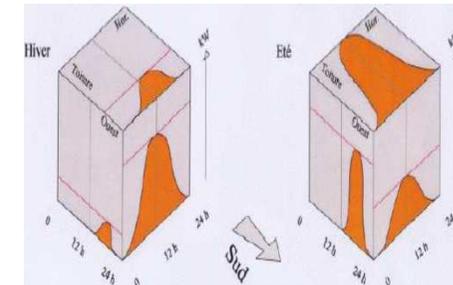
Koduri et *al.*(2015) ont étudié en simulation numérique la circulation d'air et de transfert de chaleur dans des salles.

Différents facteurs agissant sur le confort thermique ?

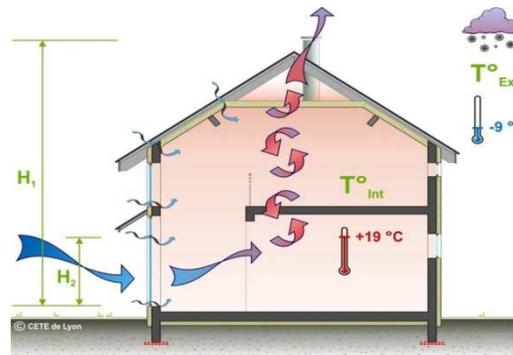
Influence climatique



L'orientation



La ventilation naturelle



Dimension des ouvertures



La couleur



Isolation thermique



Le confort thermique dans une salle

On se propose étude un cas tridimensionnel de transfert de chaleur, circulation de l'air et de l'humidité dans une salle.

La modélisation numérique est employée pour analyser l'effet de différentes cornières de circulation d'air sur la distribution de la température et de vitesse d'air dans des conditions standard, et ces effets sur le confort thermique dans la salle

Description du Problème

Chapitre 03 Modélisation et Mise en Equations

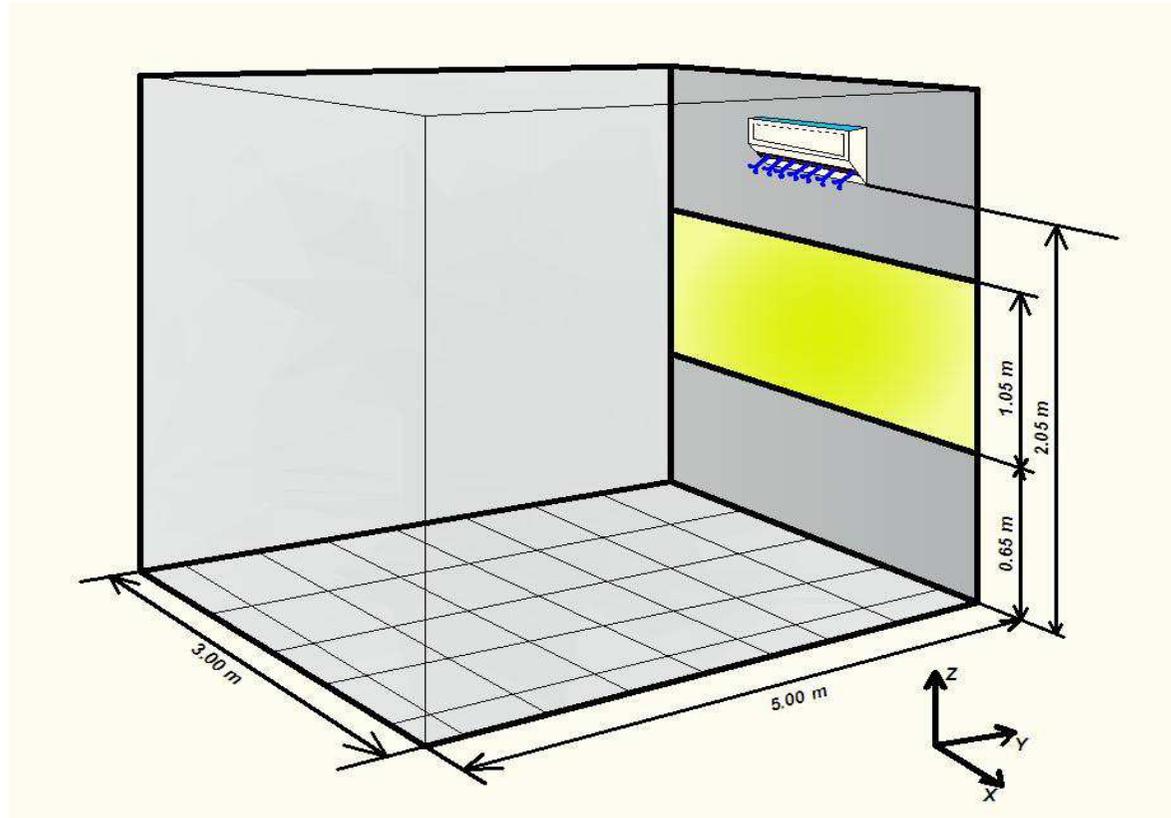


Schéma représentant le domaine de calcul

Les équations de base

Dans ce cas les équations régissant l'écoulement sont :

L'équation de continuité



$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

L'équations de Navier-Stokes



$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \rho (T - T_0)$$

L'équation d'énergie



$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\rho a + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial q_r}{\partial x_j}$$

Conditions aux Limites

Ce système d'équations différentielles est fermé à l'aide de conditions aux frontières appropriées. En plus du choix de la géométrie du confinement, il est nécessaire de fixer les conditions aux limites. Les conditions aux frontières représentatives du problème considéré dans cette étude sont les suivantes :

- *Frontières hydrodynamiques*
- *Frontières thermiques*

Modèle de Turbulence

Les écoulements turbulents sont des phénomènes assez complexes. Un mouvement turbulent entièrement développé est caractérisé par des tourbillons de tailles différentes. Bien qu'il soit théoriquement possible d'appliquer directement les équations de conservation au domaine entier de l'écoulement:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

La viscosité turbulente est obtenue à partir de la relation suivante:

$$\nu_t = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Le terme de production de pression est calculé par l'expression suivante:

$$P_k = \nu_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$$

Le terme de flottabilité est donné par:

$$G_k = -g \beta \frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial y}$$

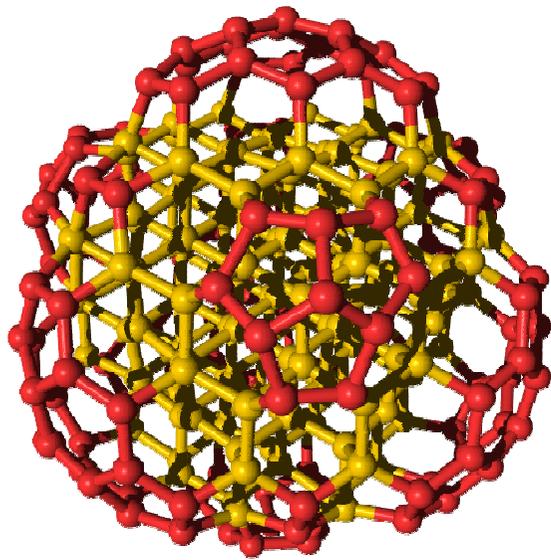
Les termes de sources , peuvent être déterminés par les formules suivantes :

$$E_{\varepsilon} = 2\nu v_t \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \right]$$

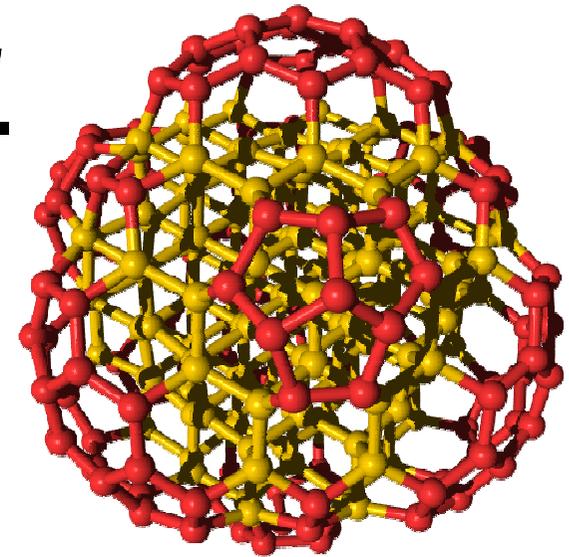
$$S_{\varepsilon} = 0.83 \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_1 y} - 1 \right) \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon c_1 y} \right) \frac{\varepsilon^2}{k}$$

Résolution numérique

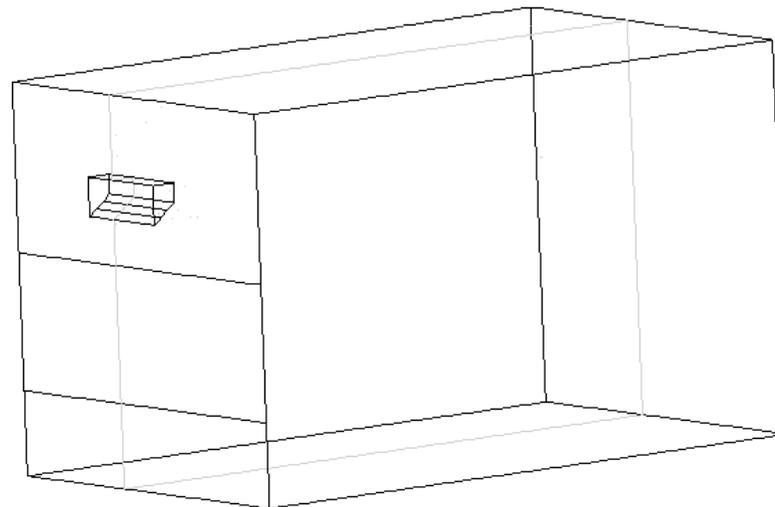
La résolution numérique des équations a été effectuée sur une configuration **tridimensionnelle** par la méthode des volumes finis à l'aide du **logiciel CFD Fluent 6.3.26**. Le maillage a été resserré près des parois et près de la source de chaleur. Le maillage utilisé est réalisé sur le Gambit par bloc de **766,535 cellules**, plusieurs maillages en été testé en termes de vitesse près de la source.



Les résultats
et
discussion



Ce chapitre présente les résultats de plusieurs conditions de l'air froid injecté par le climatiseur (débit, température et l'humidité relative). Les détails des différentes conditions aux limites sont précisés dans un plan médian horizontal.

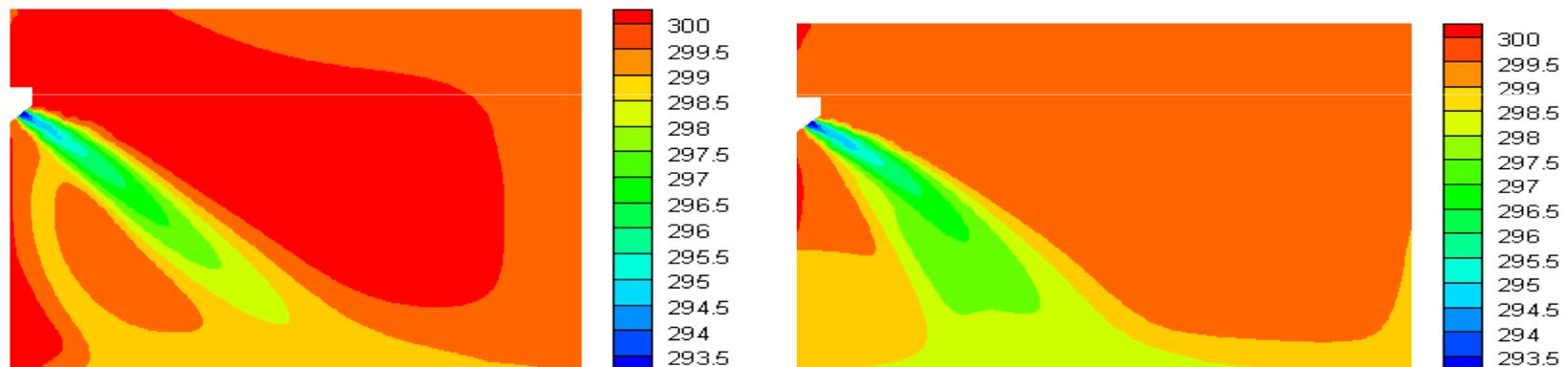


Localisation du plan médian dans la salle

4.1 Champ de température:

4.1.1 Effet du débit sur le champ de la température:

La Figure (4.2) montre la distribution de la température totale dans un plan médian de la salle climatisée.



**Fig.4.2 -Contours des températures avec un angle d'injection
30°, a. $\dot{m}=0.2 \text{ g/s}$; b. $\dot{m}=0.5 \text{ g/s}$**

4.1.2 L'effet l'angle d'injection d'air sur le champ de la température:

L'effet d'angle d'inclinaison de jet d'air froid la température ambiante est étudiée pour un débit égal 0.5 g/s en utilisant les angles de 15°, 30° et 45°. Les contours de la température au plan médian sont comparés à la figure 4.3.

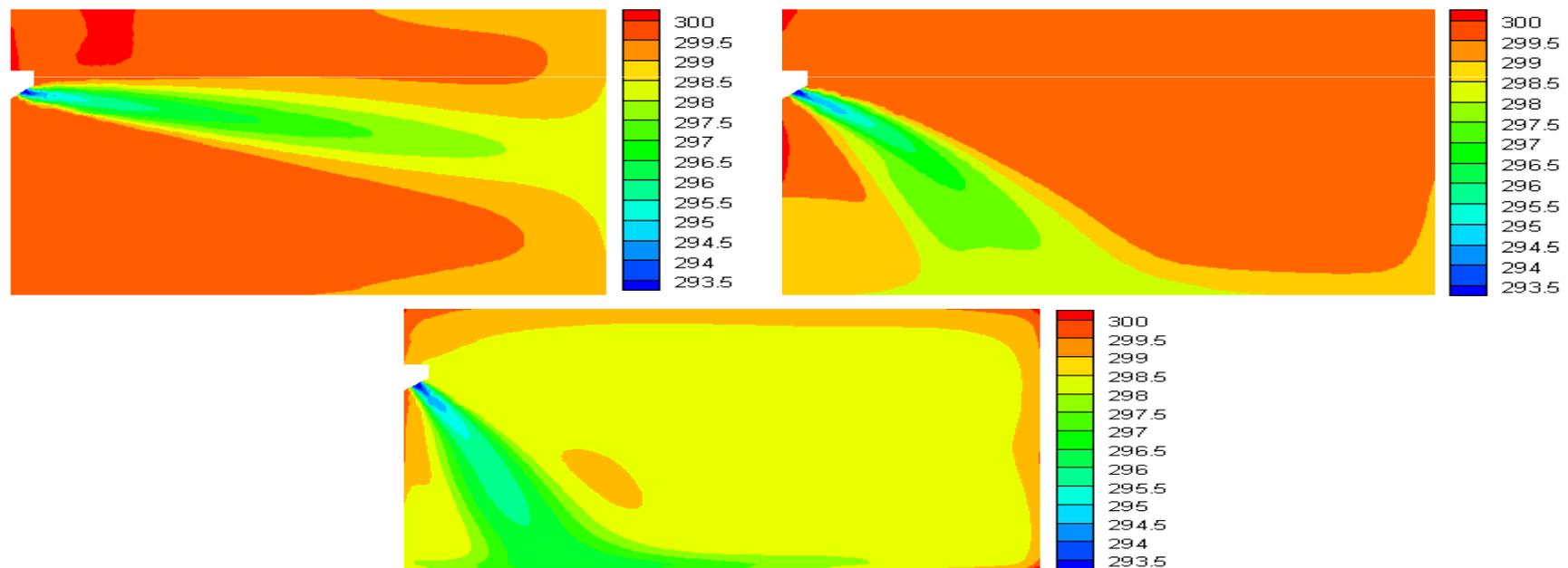


Fig.4.2 -Contours des températures avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : a. 15° ; b. 30° ; c. 45°

4.2 Champ de vitesse

Les contours de vitesse au centre de la pièce sont comparés en variant le débit et l'angle d'injection.

4.2.1 Effet du débit sur la vitesse:

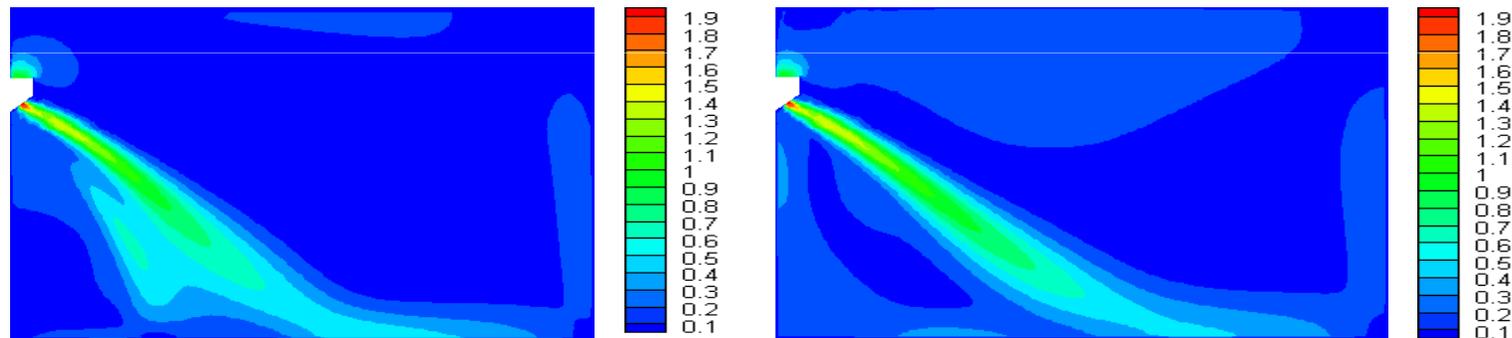


Fig.4.3 -Contours des vitesses avec un angle d'injection 30° , $a.\dot{m}=0.2 \text{ g/s}$; $b.\dot{m}=0.5 \text{ g/s}$

4.2.2 Effet d'angle d'inclinaison sur la vitesse :

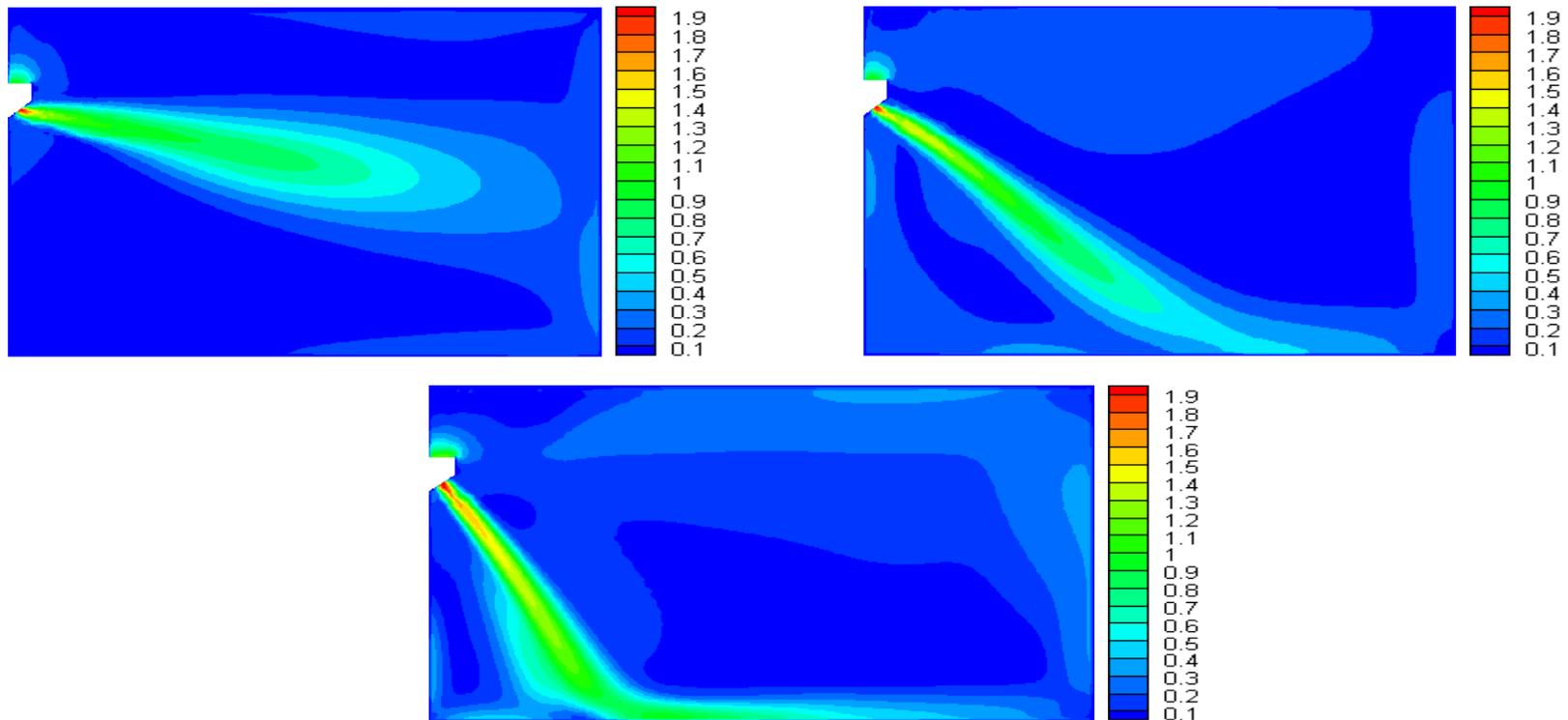


Fig.4.4 -Contours des vitesses avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s : *a.* 15° ; *b.* 30° ; *c.* 45°

4.3 Humidité relative

Cette figure présente le contour de l'humidité relative pour un débit d'air égal 0.5 g/s et un angle de 45°

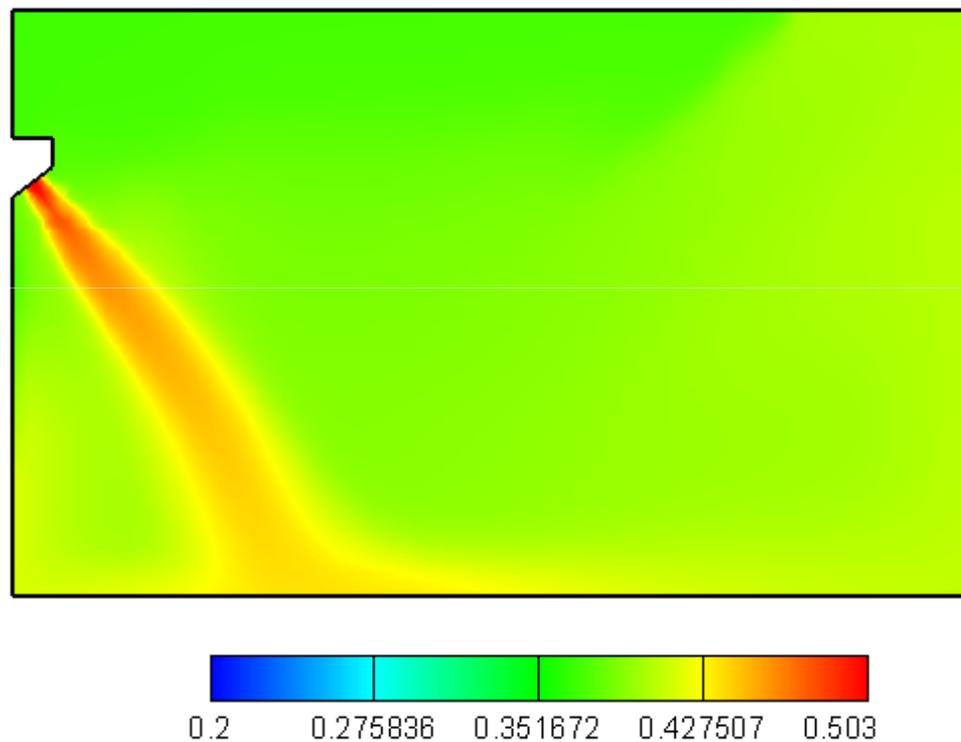


Fig.4.5-Contours de l'humidité relative avec un débit d'air $\dot{m}=0.5$ g/s et angle de jet 45°

Conclusion

Le confort thermique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable.

Les résultats qui en a obtenues montrent l'effet de l'angle d'inclinaison, le débit, influe sur la vitesse et la température de la salle ainsi l'humidité. On conclue les paramètres physiques auparavant mentionné à influencer sur le confort thermique, si le débit augmente la vitesse et la température sont directement proportionnelle avec lui, d'autre part l'humidité une importance rôle sur le confort thermique du salle.



Merci pour votre
aimable attention

Références Bibliographies

- [1] **M Mazari mohammed**, 2012. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (Tizi-ouzou). Thèse, Université Mouloud Mammri de Tizi ousou Faculté du Génie de la Construction,algerie ;
- [2] **Şenol BAŞKAYA, Emre EKEN**, 2004. numerical investigation of air flow inside an office room under various ventilation conditions , Gazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mec. Eng., 06570/Ankara ;
- [3] **Di Liu, Guang-Fa Tang, Fu-Yun Zhao**, 2006. Airflow Simulation and Energy Analysis in Ventilated Room with a New Type of Air Conditioning, College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha P. R. China, 410082 ;
- [4] **Nikola Mirkov, Žana Stevanovic, Žarko Stevanovic**,2009. NUMERICAL SIMULATION OF COLD AIR JET ATTACHMENT TO NON ADIABATIC WALLS, Institute of Nuclear Sciences “Vinca”, Laboratory for Thermal Engineering and Energy, Belgrade, Republic of Serbia ;
- [5] **Rashmin Damle,Manel Soria, Oriol Lehmkuhl, Guillem Colomer, Assensi Oliva**, 2010. Large Eddy Simulation of Airflow in a Single Family House, International High Performance Buildings Conference. Paper 31;
- [6] **YONG-GANG LEI, YA-LING HE, PAN CHU, RUI LI**, 2012. «numerical analysis for air quality in indoor with different breakdown », Chemical Engineering Science 63, p (4386-4395).
- [7] **Ramy H. Mohammed**, 2013. Numerical Investigation of Indoor Air Quality and Thermal Comfort in a Ventilated Room, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:7, No:12 ;
- [8] **Yogesh S. Fulpagare, Neeraj Agrawal**,2013. EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON ROOM AIR FLOW PATTERN & THERMAL COMFORT QUANTIFICATION, Department of Mechanical Engineering, Dr. B. A. Technological University Lonere, India ;
- [9] **Qasim Hammodi Hassan, Sabah Tarik Ahmed, Ala'a Abbas Mahdi**,2014. Numerical Simulation of Air Velocity and Temperature Distribution in an Office Room ventilated by Displacement Ventilation System, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5 ;
- [10] **Sabah tarik, Ala'a abbas, Hyder abdul hussein**, 2013.Numerical simulation of cold air distribution in the room with different supply patterns,international journal of computer application(0975-8887) volume 72-No.19 ;
- [11] **Igor Bonefacic, Igor Wolf, Bernard Frankovic**, 2015. Numerical Modelling of Thermal Comfort Conditions in an Indoor Space with Solar Radiation Sources, University of Rijeka, Faculty of Engineering, Croatia ;
- [12] **D. Prakash, P. Ravikumar**,2015. Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at theadjacent walls, SASTRA University, Thanjavur, Tamil Nadu, India Mechanical Engineering Department, Mahendhra Engineering College, Thiruchengodu, Tamil Nadu, India ;
- [13] **D. Prakash**,2015. Transient analysis and improvement of indoor thermal comfort for an air- onditioned room with thermal insulations, School of Mechanical Engineering, SASTRA University, Thanjavur, Tamil Nadu, India ;
- [14] **KODURI KARTHIK1,CHAITANYA LAHARI, SESHATALPA SAI**,2015. Numerical Simulations of Air Flow and Heat Transfer of Rooms, PG Scholar, Dept of Mechanical, MRCET Hyderabad, Telangana, India ;
- [15] **Mazari Mohammed**, 2012. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda, université Mouloud mammeri de tizi ousou, thèse, faculté du génie de la construction, département de génie mécanique, algerie ;
- [16] **Medjelekh dalel**, 2006. 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-, thèse, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE,algerie ;
- [17] **V.OLGYAN**, 1963. Design with climate : Boiclimatique approach to architectural regionalism, Princeton, University Press, N.J, USA, pp.185 ;
- [18] **Belkacem Berghout, Daniel Forgues, Danielle Monfet**, 2007. Simulation du confort thermique

- intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, École de technologie supérieure, Montréal, Québec ;
- [19] **M. MEZRED**,1997. une approche du zonage climatique de l'agerie pour l'étude du comportement thermique des constructions, Actes des journées nationales sur les application et la valorisation des énergie solaire, Université de batna, algerie ;
- [20] **Semahi samir**, 2013. Contribution méthodologique à la conception des logements a haute performance énergétique en algerie, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU, algerie ;
- [21] **Y.jannot et T.DJIAKO**, 1994.Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale, in revu e international journal of réfrigération, volume 17 n°03, France ;
- [22] **Belkacem Berghout, Daniel Forgues et Danielle Monfet**,2009. Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie ;
- [23] **Y.Jannot et T.Djiako**,1993.Economie d'énergie et cnfort thermique dans l'habitat en zone tropicale, département énergies pour le développement rural, Burkina Faso ;
- [24] **M foura samir**,2008. Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie. Thèse. Faculté des Sciences et de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire. Université Mentouri Costantine, algerie ;
- [25] **Medjelekh dalel**,2006. Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Thèse. Faculté des Sciences et de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire. Université Mentouri Costantine, algerie ;
- [26] **Farida Sam**, 2012. Réhabilitation thermique d'un local dans une zone aride –Cas de Gardaia-. Thèse. Faculté du génie de la construction département de génie mécanique . Université mouloud mammeri de Tizi ouzou, Algérie ;
- [27] **Etienne Arnal**, 2013. Modélisation et commande hiérarchisées du bâtiment pour l'amélioration des performances énergétiques, thermiques et optiques. Thèse. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. France ;

Résumé

La consommation d'énergie dans les bâtiments est devenue un sujet majeur de la recherche dans la dernière décennie, tirée par l'augmentation du coût de l'énergie. Conception des bâtiments à utiliser moins d'énergie est devenue plus importante, et la capacité d'analyser les bâtiments avant que la construction peut économiser de l'argent dans les changements de conception. La CFD a été exploré comme un moyen d'analyser la consommation d'énergie et le confort thermique dans les bâtiments. La recherche actuelle a été axée sur la simulation numérique de la climatisation une salle simple. Le code commercial FLUENT est utilisé pour effectuer des simulations pour étudier l'effet des différentes conditions et configurations. Les simulations de climatisation d'une salle par une source de débit d'air froid variant de 0.2 à 0.5 kg/s et plusieurs angle de jet d'air. Les résultats sont présentés en termes de température et vitesse, la qualité d'air a été montrée par la distribution de l'humidité relative.

ملخص

أصبح استهلاك الطاقة في المباني موضوعاً رئيسياً للبحث في العقد الماضي، مدفوعاً بارتفاع تكاليف الطاقة. أصبح تصميم المباني لاستخدام كميات أقل من الطاقة أكثر أهمية، والقدرة على تحليل المباني قبل البناء يمكن توفير المال في تغييرات التصميم. وقد تم اكتشاف CFD كوسيلة لتحليل استهلاك الطاقة والراحة الحرارية في المباني. وقد ركزت الأبحاث الحالية على محاكاة تكييف هواء الغرفة بسيطة. يتم استخدام بطاقة القانون التجاربي لأداء المحاكاة لدراسة تأثير الظروف وتكوينات مختلفة. المحاكاة تكييف هواء في غرفة من مصدر تدفق الهواء البارد يتراوح بين 0.2 و 0.5 كيلوغرام / الثانية وعدد وافر من زاوية تدفق الهواء من المكيف. يتم عرض النتائج من حيث درجة الحرارة وسرعة، وقد تبين نوعية الهواء من خلال توزيع الرطوبة النسبية.

summary

Energy consumption in buildings has become a major topic of research in the last decade, driven by the rising cost of energy. Designing of buildings to use less energy has become more important, and the ability to analyze the buildings before construction can save money in design changes. CFD has been explored as a way to analyze energy consumption and thermal comfort in buildings. Current research has focused on the numerical simulation air conditioning simple room. The commercial code FLUENT is used to perform simulations to study the effect of different conditions and configurations. Air conditioning simulations of a room by a source of cold air flow ranging from 0.2 to 0.5 kg / s and a plurality of air jet angle. The results are presented in terms of temperature and speed, the air quality has been shown by the distribution of the relative humidity.

Résumé

L'humidité de l'air intérieur a de multiples implications sur différentes questions. Par exemple, le confort thermique des occupants est liée non seulement à la température mais aussi de l'humidité relative de l'air intérieur. Le nombre d'études portant sur les phénomènes liés à l'humidité de l'air intérieur est relativement faible. En outre, l'importance du flux d'air pour l'humidité de l'air intérieur est évidente que le transport en raison de l'air est le principal mécanisme de mouvement d'humidité à l'intérieur des bâtiments. Par conséquent, l'écoulement d'air a une grande influence sur la répartition de l'humidité dans les chambres.

L'objectif de ce travail est de simulé numériquement le transport de l'humidité due à l'écoulement de l'air et la diffusion de vapeur d'eau dans l'air.

Basant sur la méthode des volumes finis, en utilisant le code commercial Fluent, plusieurs configurations ont été prises en considération. Ces conditions d'essai comprennent les effets la vitesse, l'angle d'inclinaison et la température d'air.

Les résultats présentés sous forme des contours de : vitesse, température de l'air et la distribution de l'humidité dans des plans horizontaux et verticaux.

Mots clés : Simulation numérique, Le confort thermique, L'humidité, Vitesse, température de l'air.

الملخص

الرطوبة من الهواء في الأماكن المغلقة لها آثار متعددة على مختلف القضايا. على سبيل المثال، يرتبط الراحة الحرارية درجة الحرارة ليس فقط ولكن أيضا الرطوبة النسبية للهواء في الأماكن المغلقة. عدد من الدراسات حول المشاكل المتعلقة رطوبة الهواء في الأماكن المغلقة منخفضة نسبيا. وبالإضافة إلى ذلك، على أهمية تدفق الهواء للرطوبة الهواء في الأماكن المغلقة هو واضح أن النقل بسبب الهواء هو آلية الحركة رطوبة كبيرة داخل المباني. ولذلك، فإن تدفق الهواء له تأثير كبير على توزيع الرطوبة في الغرف.

والهدف من هذا العمل هو محاكاة عدديا نقل الرطوبة نظرا لتدفق الهواء ونشر بخار الماء في الهواء

بناء على طريقة حجم محدود، وذلك باستخدام القانون التجاري بطلاقة، واعتبرت عدة تكوينات. وتشمل هذه الشروط اختبار سرعة التأثير، والميل وزاوية درجة حرارة الهواء

وقدمت النتائج في شكل ملامح من السرعة ودرجة حرارة الهواء وتوزيع الرطوبة في الطائرات الأفقية والرأسية

كلمات البحث: المحاكاة العددية، الراحة الحرارية والرطوبة وسرعة ودرجة حرارة الهواء

Abstract

The humidity of indoor air has multiple implications on various issues. For example, the thermal comfort is linked not only temperature but also the relative humidity of indoor air. The number of studies on the moisture-related problems of indoor air is relatively low. In addition, the importance of the air flow for moisture of the indoor air is obvious that transport because of the air is the major moisture movement mechanism inside buildings. Therefore, the air flow has a great influence on the distribution of moisture in the rooms.

The objective of this work is to numerically simulated the transport of moisture due to the flow of air and diffusion of water vapor in the air.

Based on the finite volume method, using the FLUENT commercial code, several configurations were considered. These test conditions include the impact speed, tilt and angle the air temperature.

The results presented in the form of contours of speed, air temperature and moisture distribution in horizontal and vertical planes.

Keywords: numerical simulation, thermal comfort, humidity, speed, air temperature..