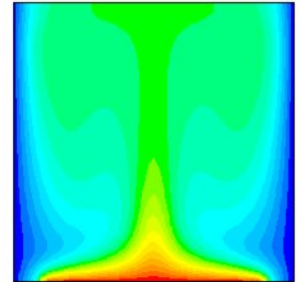


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MENTOURI – CONSTANTINE
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CLIMATIQUE



N° d'ordre :
Série :

MÉMOIRE: *Présenté pour obtenir le diplôme de Magister*

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES MOUVEMENTS D'AIR
(SIMULATION DE TEMPERATURE) DANS UN LOCAL A L'AIDE
D'UN CODE DE CHAMP.**

OPTION :

THERMIQUES DU BATIMENTS ET REFRIGERATION

Par : **TOUAHRIA ABD EL DJOUAD**

Soutenue le : **28/ 06 / 2010**

Composition du jury :

Président :	BELHAMRI A	Professeur	Université Mentouri Constantine
Rapporteur :	MAHRI ZINELABIDINE	MC	Université Mentouri Constantine
Examineurs :	ROUABAH MS	MC	Université Mentouri Constantine
Examineurs :	GOMRI R	MC	Université Mentouri Constantine

REMERCIEMENTS

Remerciements.

Je tiens à remercier Dr. MAHRI ZINNELABIDINE, pour son encadrement efficace et les nombreux conseils qu'il a pu me donner. Grace a lui, ce travail a pris toute sa consistance scientifique. Je suis très heureux d'avoir pu travailler avec le laboratoire du Génie Climatique, en particulier avec Dr. ROUABAH MOHAMED SALAH, qui a initié cette thèse et qui m'a fourni de nombreux conseils en thermique du bâtiment.

Je remercie vivement, Pr BELHAMRI.A, d'avoir accepte de présider mon jury de Thèse.

Je remercie également Dr. ROUABAH M.S et Dr. GOMRI.R, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail dont ils ont été les rapporteurs.

Je remercie également Mr. GASSI FARID, pour son accueil au sein du laboratoire du Génie Mécanique. J'adresse aussi tous mes remerciements au Pr. NEMOUCHI ZOUBIR, qui de près ou de loin a participé à l'élaboration de ce travail. Sans oublié Mme. ZEMMOURI.FATIMA, Dr. ADLA BENTELLIS, et Dr. FOUZIA KAFADAR, pour ces encouragements.

Enfin, je renouvelle ma chaleureuse amitié à Litouche.B ainsi qu'à Halloufi.W, Chougui.ML, Ameer mamed.C, Dib.B, Boussalia. A, Boudjbir.H, et Khehlerras. L, avec qui j'ai passé d'agréables moments durant ces trois années.

Il me reste à remercier ceux qui m'ont entouré pendant ces quelques années. Pour n'en citer que quelques-uns (que les autres me pardonnent) merci donc à Rebai .b, Mme. Nacira (victoria), Mme. Samia, pour les nombreuses conversations amicales que nous avons eues, et pour bien d'autres choses encore.

DEDICACE

Dédicace.

A toute ma famille...

Contribution à l'étude des mouvements d'air (simulation de température) dans un local à l'aide d'un code de champ.**Résumé.**

*Dans ce présent travail nous avons réalisé une étude du comportement thermique des locaux d'habitation chauffés ou rafraîchi, où l'objectif est d'effectuer une étude comparative entre des modèles de turbulences **RANS (k-ε) RNG**, **RANS (k-ε) Standard**, et **LES**, et de montrer la difficulté de prédire correctement le phénomène de convection naturelle dans des configurations complexes à l'aide de code **CFD**. Ainsi que l'indépendance des résultats par rapport à la densité de la grille, déterminer numériquement les zones de confort et d'inconfort, et illustrer virtuellement les mouvements d'air au sein du local, avec différents niveaux de finesse, ainsi que l'influence des conditions aux limites sur la distribution des températures et des vitesses de l'air dans les locaux. Pour cela, nous nous sommes attachés à visualiser les écoulements d'air et à connaître les champs de vitesse et de température par une modélisation à l'aide du code de champs **Fluent**. Pour des raisons de validation avec les résultats expérimentales, ainsi que l'objectif à atteindre par notre étude, nous avons choisi cinq travaux en (2D) et (3D), commençant par une comparaison entre les résultats numériques obtenus à l'aide du code de champs « **Fluent** » avec des différents modèles de turbulences ; **RANS (k-ε) RNG**, **RANS (k-ε) Standard**, et **LES** ; dans des configurations différentes, en suite en jouant sur la taille des mailles, ainsi qu'au type de convection (forcée ou, mixte), pour montrer l'indépendance des résultats par rapport à la densité de la grille. Et à la fin nous allons étudier la sensibilité des résultats numérique obtenus à certaines conditions aux limites.*

*Après avoir présenté les différentes méthodes de modélisation retenues pour la détermination des transferts de masse et de chaleur dans les bâtiments (nodale, zonale et CFD), et les objectifs qui sont dans notre cas le confort thermique, l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un bâtiment, ou de la qualité de l'air au sein d'une zone de celui-ci, nous tentons de montrer l'intérêt d'utiliser une méthode plutôt qu'une autre en spécifiant la modélisation à l'aide d'un code de champs (Computational fluid dynamics CFD). En particulier le logiciel **Fluent**., avec le modèle de turbulence (k-ε), associé à l'hypothèse de boussinesq, qui est le plus utilisé dans la majorité des travaux, à cause de sa facilité de mise en œuvre numérique, et les bons résultats obtenus en comparaisons avec ceux de l'expérimental.*

Sans oublier d'expliquer le principe des codes de champs et les différentes approches qui le construits, on se basant sur les modèles de turbulence en particulier le modèle (k-ε) associé à l'hypothèse de type boussinesq, et le principe de la méthode numérique des volumes finis.

Mots clés : modélisation, **CFD**, modèle de turbulence **RANS (k-ε)**, **RANS (k-ε)**, **RNG**, **LES**, l'hypothèse de type **boussinesq**, Convection naturelle, forcée, et mixte, volumes finis, Code **Fluent**.

Contribution to the study of air movement (simulation temperature) in a room with CFD.

Abstract .

In the present work we conducted a study of the thermal behavior of accommodation heated or cooled, where the objective is to conduct a comparative study of turbulence models, RANS ($k-\epsilon$), RNG, RANS ($k-\epsilon$) standards, and LES, and show the difficulty of predicting correctly the phenomenon of natural convection in complex configurations using CFD. As the independence of results from the density of grid, determine numerically the areas of comfort and discomfort, and potentially show the movement of air within the room, with different levels of refinement, and the influence of boundary conditions on the distribution of temperatures and air velocities in the premises. For this, we are committed to visualize the air flow and to know the velocity field and temperature modeling by using the code Fluent. For reasons of validation with experimental results and the objective of our study, we chose five works in (2D) and (3D), starting with a comparison between the numerical results obtained using the code fields "Fluent" with different models of turbulence RANS ($k-\epsilon$) Standard, , RANS ($k-\epsilon$) RNG, and LES, in different configurations, after changing the mesh size, and the type of convection (forced or mixed), to show the independence of results from the density of the grid. And in the end we will study the sensitivity of numerical results obtained with certain boundary conditions.

After presenting the different modeling methods used for the determination of mass transfer and heat in buildings (nodal, zonal and CFD), and goals that are in our case the thermal comfort evaluation of energy efficiency a building, or air quality within an area of it, we try to show the value of using one method over another by specifying the model with code field (Computational Fluid Dynamics CFD). In particular the software Fluent, with the turbulence model ($k-\epsilon$) associated with the Boussinesq type, which is most used in most work, because of its ease of digital implementation, and good results in comparison with those of experimental.

Not forgetting to explain the principle of field codes and the different approaches that built it, based on turbulence models in particular the model of ($k-\epsilon$), associated with the hypothesis of Boussinesq type, and the principe of numerical method of finite volume.

Keywords: *modeling, CFD, turbulence models RANS($k-\epsilon$) standard, RANS ($k-\epsilon$) RNG, LES, the hypothesis of Boussinesq type, natural convection, forced and mixed, finite volume, code Fluent.*

مساهمة في دراسة حركة الهواء (محاكاة لدرجة الحرارة) في غرفة بأستعمال رمز حقل CFD . ملخص.

في العمل الحالي أجرينا دراسة السلوك الحراري في الأماكن السكنية الساخنة أو الباردة، حيث كان الهدف هو إجراء دراسة مقارنة لنماذج الاضطراب **RANS (k-ε) RNG, RANS (k-ε) Standard, LES** و **LES** و اظهار صعوبة التنبؤ بشكل صحيح بظاهرة الحمل الحراري الطبيعي في حالات الأشكال المعقدة للبنائيات باستخدام رمز سي إف دي **CFD** . وكذا تبيان استقلال النتائج عن كثافة التقسيم (الشبكة) ، وتحديد أماكن الرفاهية عددياً، وتمثيل افتراضي لحركة الهواء داخل الغرفة ، بمستويات مختلفة من الدقة في التقسيم (الشبكة)، وتبيان تبعية توزيع درجات الحرارة وسرعات الهواء للشروط الابتدائية على مستوى حدود الغرفة. لهذا ، نحن مجبرون لتمثيل سلوك سريان الهواء و معرفة مجال السرعة ودرجة الحرارة باستخدام رمز سي إف دي **CFD** , الذي هو **Fluent** . وللتحقق من صحة النتائج المتحصل عليها مقارنة مع تلك المتحصل عليها تجريبياً , وكذا الهدف من دراستنا ، اخترنا خمسة أعمال ذات أبعاد ثنائية و ثلاثية (2D) و (3D) ، حيث نبدأ بمقارنة بين النتائج العددية التي تم الحصول عليها باستخدام رمز حقل « **Fluent** » مع النماذج المختلفة من مقاييس الاضطراب : **RANS (k-ε) Standard, RANS (k-ε) RNG, LES** و **LES** , في أشكال مختلفة , بعدها نقوم بتغيير دقة التقسيم (الشبكة) ، وذلك في حالات أنواع الحمل الحراري (الموجهة بقوة أو المختلطة) ، لأظهار استقلالية النتائج عن كثافة التقسيم (الشبكة) . وفي النهاية سوف ندرس حساسية النتائج العددية التي تم الحصول عليها للشروط الابتدائية على مستوى حدود الغرفة.

و كل هذا بعد تقديم ملخص لمختلفة النماذج النمطية المستخدمة لتحديد نوع و كم الانتقال الحراري و الكتلي في المباني (الأنماط العددية و الجهوية ونمط سي إف دي) ، والأهداف التي هي في حالتنا هذه: الرفاهية الحرارية، وتقييم كفاءة استخدام الطاقة في المبنى، أو نوعية الهواء داخل منطقة معينة منه ، ونحاول أن نبين الهدف من استخدام طريقة دون أخرى من خلال التركيز على النمط سي إف دي **CFD** (حساب ديناميكا الموائع سي إف دي). لا سيما **Fluent** مع نمط الاضطراب **RANS (k-ε)**، المرفوق بفرضية **Boussinesq**، التي هي الأكثر استعمالاً في معظم الأعمال ، نظراً لسهولة استعمالها الرقمي ، و نتائجها الجيدة مقارنة مع تلك المتحصل عليها تجريبياً.

من دون أن ننسى شرح مبدأ رموز الحقل والمراحل المختلفة التي تكونها، و التركيز على نماذج و مقاييس الاضطراب خاصة منها نموذج **(k-ε)** المرفوق بفرضية **Boussinesq** ، ومبدأ الطريقة العددية للحجوم المحدود.

الكلمات الرئيسية : النمطية ، رمز سي إف دي **CFD**، نماذج الاضطراب **RANS (k-ε), RANS (k-ε), RNG, LES**، فرضية **Boussinesq** ، التحميل الحراري الطبيعي، الموجه بقوة، المختلط ، الحجم المحدود ، الرمز **Fluent** .

TABLE DES MATIERES

Page de garde.....	I
Remerciements.....	II
Dédicaces.....	III
Résumé.....	IV
Table des matières.....	VII
Table des figures & liste des Tableaux.....	X
Table des équations.....	XIII
Nomenclature.....	XV
Introduction générale.....	01
Chapitre I. La modélisation dans le bâtiment.....	04
1. le confort thermique a l'intérieur d'un établissement.....	05
1.1. Notions de confort thermique.....	05
1.2. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique.....	05
1.3. Conditions environnementales du confort thermique général.....	05
1.4. Conditions environnementales du confort thermique local.....	06
✓ Différence verticale de la température de l'air.....	06
✓ Asymétrie de la température de rayonnement.....	06
✓ Température des planchers.....	06
✓ Courants d'air.....	06
2. Modélisation dans le bâtiment.....	06
2.1. Description des phénomènes.....	07
2.2. Définition et objectifs de la modélisation.....	08
2.3. Les différents types de modélisation dans le bâtiment.....	09
2.3.1. La modélisation mono zone.....	09
2.3.2. La modélisation multizone (ou nodale).....	09
2.3.3. La modélisation par codes de champs.....	09
2.3.4. La modélisation intermédiaire (zonale).....	10
3. Simulation dans le domaine de bâtiments.....	11
3.1. Objectifs à atteindre par la simulation.....	11
4. Analyse bibliographique.....	12
Chapitre II. Code de champ et équations gouvernantes.....	15
1. Mise en équations de la convection.....	16
✓ L'équation de l'énergie.....	16
✓ Les équations de Navier-Stokes.....	16
✓ L'équation de continuité.....	16
1.1. Hypothèses de simplification.....	16
2. Couche limite turbulente.....	18
2.1. Définition de la turbulence.....	18
2.2. Considérations générales.....	19
2.2.1. Décomposition de Reynolds et équations moyennes.....	19
2.2.2. Les équations moyennées de l'écoulement turbulent.....	20
3. Principes des codes de champs.....	20
3.1. Différentes approches permettent de construire un modèle CFD.....	21
3.1.1. Géométrie.....	21
3.1.2. Maillage.....	21
✓ Des maillages structurés.....	21
-Des maillages rectilignes.....	21
-Des maillages 'body-fitted'.....	22
✓ Des maillages non structuré.....	22
3.1.3. Modeles de turbulence.....	23
✓ Avantages de la méthode de fermeture à deux équations.....	23
✓ Equation de l'énergie cinétique turbulente.....	24
✓ Equation de la dissipation.....	24
3.1.4. Critère de choix d'un modèle.....	26
4. Conditions aux limites.....	27
4.1. La loi de paroi.....	28
5. Méthodes numériques.....	30

5.1. Le bilan (le système algébrique).....	30
6. Traitement des résultats.....	32
Chapitre III. Application de code de champs a des cas particuliers.....	33
1. Etude comparative entre les Modèles de Turbulences dans des configurations différentes à l'aide de code de champs Fluent.....	34
1.1. Cas de la géométrie simple.....	34
1.1.1. Description du local étudié.....	34
1.1.2. Maillages.....	35
1.2. Cas de la géométrie complexe.....	35
1.2.1. Description du local étudié.....	35
1.2.2. Maillages.....	36
2. Application du modèle RANS ($k-\epsilon$), sur des maillages grossiers et suffisamment fins, pour montrer, l'indépendance des résultats par rapport à la densité de la grille.....	37
2.1. Cas de la convection forcée.....	37
2.1.1. Description du local étudié.....	37
2.1.2. Maillages.....	37
2.2. Cas de la convection mixte.....	39
2.2.1. Description du local étudié.....	40
2.2.2. Maillages.....	40
3. Etude de la sensibilité des résultats obtenus aux conditions aux limites (entrées, type de murs, et l'intensité de la turbulence).....	41
3.1. Application.....	41
3.2. Description du local étudié.....	41
3.3. Conditions aux limites.....	42
3.4. Maillages.....	43
Chapitre IV. Résultats et commentaires.....	44
1. Etude comparative entre les Modèles de Turbulences dans des configurations différentes à l'aide de code de champs Fluent.....	45
1.1. Profils de vitesses et profils de température.....	45
1.1.1. Cas de la géométrie simple.....	45
1.1.2. Cas de la géométrie complexe.....	47
1.2. Analyse des résultats.....	49
1.3. Conclusion.....	52
2. Application du modèle RANS ($k-\epsilon$), sur des maillages grossiers et suffisamment fins, pour montre .l'indépendance des résultats par rapport à la densité de la grille.....	53
2.1. Cas de la convection forcée.....	53
2.1.1. Analyse des résultats.....	54
✓ Profils de vitesses.....	54
2.1.2. Conclusion.....	58
2.2. Cas de la convection mixte.....	59
2.2.1. Analyse des résultats.....	60
✓ Profils de vitesses.....	60
✓ Profils de température.....	63
2.2.2. Conclusion.....	67
3. Etude de la sensibilité des résultats obtenus aux conditions aux limites (entrées, type de murs, inclinaison du jet de soufflage, et l'intensité de la turbulence).....	68
3.1. vitesse d'entrée de 1.39m/s, murs isothermes de 24°C, l'intensité de la turbulence $I=10\%$, et le jet de soufflage incliné, puis horizontal.....	68
3.1.1. Analyse des résultats.....	70
✓ Champ de vitesse et Champ de température.....	73
3.2. Vitesse d'entrée de 1.39m/s, murs isothermes de 27°C, l'intensité de la turbulence $I=10\%$, et le jet de soufflage horizontal et puis incliné.....	77
3.2.1. Analyse des résultats.....	78
✓ Champ de température.....	78
3.3. Conclusion.....	82
3.4. Vitesse d'entrée est de 1.39m/s, les murs sont isotherme 24°C, et l'intensité de la turbulence $I=20\%$	83
3.4.1. Analyse des résultats.....	84
✓ Champ de température et Champ de vitesse.....	84

3.5. Conclusions.....	88
Conclusion générale et Perspectives.....	89
Annexe et références.....	92
Annexe –A- : L'approximation de BOUSSINESQ.....	93
Annexe –B- : Modèles de turbulence.....	95
Annexe –C- : La méthode des volumes finis.....	106
Annexe –D- : Résultats.....	112
Références bibliographiques.....	115

TABLE DES FIGURES & LISTE DES TABLEAUX

Figure. I.1- Description des phénomènes thermiques dans une cellule.	8
Figure II.1. Illustration de la notion de maillage.	22
Figure. II. 2- Représentation schématique du comportement de la couche limite ($Pr \leq 1$).	28
Figure. II.3- Notation au voisinage de la paroi	29
Figure.III.1- Description du premier cas traité. (BEN NASR, 2006).	34
Figure.III.2- maillage 40x40, du local étudié, cas de la géométrie simple. (K.BEN NASR, 2006).	35
Figure.III.3- Description du cas traité. CHEN (1996). (MORA, 2003).	36
Figure. III.4- maillage 100x100, du local étudié, cas de la géométrie complexe CHEN (1996).	36
Figure.III.5 - Description du local étudié. Cas de la convection forcée.	38
Figure.III.6 - différent maillage. Cas de la convection forcée.	38
Figure.III.7 - Description du local étudié. . Cas de la convection mixte	40
Figure.III.8- Différent maillage. . Cas de la convection mixte	40
Figure. III.9- Description du local. (REGARD, 1996).	42
Figure.III.10 - maillage du local (51x27x52).	43
Figure. IV.1- Écoulements obtenus avec le modèle RANS ($k-\varepsilon$) Standard. (Nos résultats).	45
Figure. IV.2- Écoulements obtenus avec le modèle RANS ($k-\varepsilon$) RNG. (Nos résultats).	46
Figure. IV.3- Écoulements obtenus avec le modèle LES. (Nos résultats).	46
Figure. IV.4- Prédiction numérique de la distribution de température et des vecteurs de vitesse à l'intérieur du local. (K.BEN NASR, 2006).	47
Figure. IV.5- Écoulements obtenus avec le modèle RANS ($k-\varepsilon$) RNG. (Nos résultats).	47
Figure. IV.6- Écoulements obtenus avec le modèle RANS ($k-\varepsilon$) Standard. (Nos résultats).	48
Figure. IV.7- Écoulements obtenus avec le modèle LES. (Nos résultats).	48
Figure. IV.8- Profils de vitesse verticale pour $Z = 1/2$. (MORA, 2003).	49
Figure. IV.9- Profils de température au droit du linteau $X = 1$. (MORA, 2003).	49
Figure. IV.10- Profils de vitesse verticale pour $Z = 0,5$. (Géométrie simple, complexe). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6).	50
Figure. IV.11- Profils de température au droit du linteau $X = 1$. (Géométrie simple, complexe). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6).	51
Figure. IV.12- Écoulements obtenus avec le modèle zonal conventionnel. (MORA ,2003).	53
Figure. IV.13 - Écoulements obtenus avec le modèle zonal de Axley, SPARK. (MORA ,2003).	53
Figure. IV.14 - Écoulements obtenus avec les méthodes CFD, STARCD. (MORA ,2003).	53
Figure. IV.15 - Écoulements obtenus avec les méthodes CFD, FLUENT (Nos résultats).	53
Figure. IV.16- Profils de vitesse obtenus avec les modèles zonaux à ($x = 2H$). (MORA ,2003).	54
Figure. IV.17 - Comparaison des profils de vitesses d'air obtenus par le modèle STARCD avec les données expérimentales. (MORA, 2003).	55
Figure. IV.18 - Comparaison des profils de vitesses d'air obtenus par les modèles CFD, RANS ($k-\varepsilon$), à ($x = H$, et $x = 2H$). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6)	56
Figure. IV.19 - Comparaison des profils de vitesses d'air obtenus par le modèle CFD, RANS ($k-\varepsilon$), à ($z = 0,972H$ et $z = 0,028H$). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6)	57
Figure. IV.20 - Prédiction de l'écoulement par un modèle zonal 8 x 6.(ZHANG et al., 1992). (MORA, 2003).	59
Figure. IV.21 - Prédiction de l'écoulement par les modèles CFD, STARCD.(ZHANG et al., 1992). (MORA, 2003).	59
Figure. IV.22 - Écoulements obtenus avec les méthodes CFD, FLUENT. (Nos résultats avec l'ORIGINE.6)	59
Figure. IV.23.A - Profils de vitesse obtenus par différents modèles zonaux avec modèle de jet. (ZHANG et al., 1992). (MORA, 2003).	60
Figure. IV.23.B - Profils de vitesse obtenus par différents modèles zonaux avec modèle de jet. (ZHANG et al., 1992). (MORA, 2003).	61
Figure. IV.24.A - Profils de vitesse obtenus par différents modèles CFD, STARCD. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	61
Figure. IV.24.B - Profils de vitesse obtenus par différents modèles CFD, STARCD. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	62
Figure. IV.25.A - Profils de température obtenus par différents modèles zonaux avec modèle de jet. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	63
Figure. IV.25.B - Profils de température obtenus par différents modèles zonaux avec modèle de jet. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	64

Figure. IV.26.A – Profils de température obtenus par différents modèles STARCD. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	64
Figure. IV.26.B – Profils de température obtenus par différents modèles STARCD. (ZHANG et al. 1992). (MORA, 2003).	65
Figure. IV.27.A – Profils de température obtenus par différents modèles CFD, RANS ($k-\epsilon$). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6).	65
Figure. IV.27.B – Profils de température obtenus par différents modèles CFD, RANS ($k-\epsilon$). (Nos résultats avec l'ORIGINE.6).	66
Figure. IV.28- Les plans selon lesquelles la projection en (3D). ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m, y=1.23m, y=1.60m, y=1.80m, y=2.46m, y=2.50m$).	68
Figure. IV.29- Structure de l'écoulement dans la salle, plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$) Avec l'inclinaison du jet de 27° . (REGARD, 1996).	69
Figure. IV.30- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$). Avec l'inclinaison du jet de (27°). (Nos résultats avec Fluent).	69
Figure. IV.31- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$). Avec l'inclinaison du jet de (0°). (Nos résultats avec Fluent).	70
Figure. IV.32- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale $y=1.23 m$, (expérimentale, numérique) (REGARD, 1996).	71
Figure. IV. 33- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale $y=1.60 m$ (expérimentale, numérique) (REGARD, 1996).	71
Figure. IV.34- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale $y=1.23 m, y=1.60 m$ (Numérique CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$)). Avec l'inclinaison du jet de 27° .(Nos résultats avec Fluent).	71
Figure. IV.35- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale $y=1.23 m, y=1.60 m$ (Numérique CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$)). Avec l'inclinaison du jet de (0°). (Nos résultats avec Fluent).	72
Figures. IV.36- Vecteurs de vitesse $Z=5.70m, Z=1.26m$. Avec l'inclinaison du jet de (27°). (Nos résultats avec Fluent).	72
Figures. IV.37- Vecteurs de vitesse $Z=5.70m, Z=1.26m$. Avec l'inclinaison du jet de (0°). (Nos résultats avec Fluent).	73
Figure. IV.38- Contours de vitesse dans un plan horizontale $y=1.80 m$ (expérimentale, numérique) (REGARD, 1996).	74
Figure. IV.39- Contours de vitesse en (cm/s) dans un plan horizontale $y=2.46 m$. (Expérimentale, numérique). (REGARD, 1996).	74
Figure. IV.40- Contours de vitesse, $y=1.21, y=1.60, y=1.80, y=2.46, y=2.5$, respectivement. Avec l'inclinaison du jet de 27° . (Nos résultats avec Fluent).	75
Figure. IV.41- Contours de vitesse, $y=1.21, y=1.60, y=1.80, y=2.46, y=2.5$, respectivement. Avec l'inclinaison du jet de 0° . (Nos résultats avec Fluent).	76
Figure. IV.42- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 27° (Nos résultats avec Fluent).	77
Figure. IV.43 Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 0° . (Nos résultats avec Fluent).	78
Figure. IV.44- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), Contours de température plan ($y=2.5m, y=1.8m, y=1.23m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 27° . (Nos résultats avec Fluent).	79
Figure. IV.45- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), Contours de température plan ($y=2.5m, y=1.8m, y=1.23m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de (0°). (Nos résultats avec Fluent).	80
Figure. IV.46- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), Contours de température plan ($z=1.26m, z=5.70m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 27° . (Nos résultats avec Fluent).	81
Figure. IV.47- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), Contours de température plan ($z=1.26m, z=5.70m$). Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 0° . (Nos résultats avec Fluent).	81
Figure. IV.48 - Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$) Avec la température des murs de $24^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 27° , l'intensité de turbulence de 20%. (Nos résultats avec Fluent).	83
Figure. IV.49- Les résultats fournis par Fluent CFD, RANS, RNG ($k-\epsilon$), plan ($z= 1.26m, z=5.70m, y=1.21m$) Avec la température des murs de $27^\circ C$, et l'inclinaison du jet de 27° , l'intensité de turbulence de 20%. (Nos résultats avec Fluent).	84

<i>Figure. IV.50 Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.23m$, $y=1.60 m$, et $I=10%$ (numérique). (REGARD, 1996).</i>	85
<i>Figure. IV.51- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.23m$, $y=1.60 m$ et $I=20%$ (numérique). (REGARD, 1996).</i>	85
<i>Figure. IV.52- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.23m$, $y=1.60 m$. Avec la température des murs de $24C^{\circ}$, l'inclinaison du jet de 0°, et l'intensité de turbulence $I=20%$. (nos résultats numérique avec Fluent).</i>	85
<i>Figure. IV.53- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.23m$, $y=1.60 m$. Avec la température des murs de $24C^{\circ}$, l'inclinaison du jet de 27°, et l'intensité de turbulence $I=20%$ (nos résultats numérique avec Fluent).</i>	86
<i>Figure. IV.54- Vecteurs de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.23m$, $y=1.60 m$ et $I=20%$ (expérimentale). (REGARD, 1996).</i>	86
<i>Figure. IV.55- Contours de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.80 m$, $y=2.50 m$ et $I=10%$ (numérique). (REGARD, 1996).</i>	86
<i>Figure. IV.56- Contours de vitesse dans un plan horizontale : $y=1.80 m$, $y=2.50 m$ et $I=20%$ (numérique). (REGARD, 1996).</i>	87
<i>Figure. IV.57- Contours de vitesse dans un plan horizontale : $y=2.50 m$, $y=2.46 m$. Avec la température des murs de $24C^{\circ}$, l'inclinaison du jet de 0°, et l'intensité de turbulence $I=20%$ (nos résultats numérique avec Fluent).</i>	87
<i>Figure. IV.58- Contours de vitesse dans un plan horizontale : $y=2.50 m$, $y=2.46 m$. Avec la température des murs de $24C^{\circ}$, l'inclinaison du jet de 27°, et l'intensité de turbulence $I=20%$ (nos résultats numérique avec Fluent).</i>	87
<i>Figure. C.1- Volume de contrôle 2D.</i>	108
<i>Figure. C.2 -Exemple d'un maillage 1D.</i>	109
<i>Tableau. B.1 : Différents types de fermetures basés sur le concept de la viscosité turbulente.</i>	98
<i>Tableau. B.2- Coefficients du modèle $k- \varepsilon$ standard.</i>	105

TABLE DES EQUATIONS

Equation (II.1)	16
Equation (II.2)	16
Equation (II.3)	16
Equation (II.3)	16
Equation (II.4)	16
Equation (II.5)	16
Equation (II.6)	17
Equation (II.7)	18
Equation (II.8)	18
Equation (II.9)	18
Equation (II.10)	18
Equation (II.11)	18
Equation (II.12)	18
Equation (II.13)	19
Equation (II.14)	19
Equation (II.15)	19
Equation (II.16)	19
Equation (II.17)	20
Equation (II.18)	20
Equation (II.19)	24
Equation (II.20)	24
Equation (II.21)	25
Equation (II.22)	25
Equation (II.23)	25
Equation (II.24)	26
Equation (II.25)	26
Equation (II.26)	26
Equation (II.27)	26
Equation (II.28)	26
Equation (II.29)	28
Equation (II.30)	29
Equation (II.31)	29
Equation (II.32)	31
Equation (A.1)	93
Equation (A.2)	93
Equation (A.3)	93
Equation (B.1)	99
Equation (B.2)	99
Equation (B.3)	99
Equation (B.4)	99
Equation (B.5)	99
Equation (B.6)	100
Equation (B.7)	100
Equation (B.8)	100
Equation (B.9)	100
Equation (B.10)	100
Equation (B.11)	101
Equation (B.12)	101
Equation (B.13)	101
Equation (B.14)	101
Equation (B.15)	102
Equation (B.16)	102
Equation (B.17)	102
Equation (B.18)	102
Equation (B.19)	102
Equation (B.20)	103
Equation (B.21)	104

<i>Equation (B.22)</i>	.....	<i>104</i>
<i>Equation (B.23)</i>	.....	<i>104</i>
<i>Equation (B.24)</i>	.....	<i>105</i>
<i>Equation (C.1)</i>	.....	<i>106</i>
<i>Equation (C.2)</i>	.....	<i>107</i>
<i>Equation (C.3)</i>	.....	<i>107</i>
<i>Equation (C.4)</i>	.....	<i>107</i>
<i>Equation (C.5)</i>	.....	<i>107</i>
<i>Equation (C.6)</i>	.....	<i>108</i>
<i>Equation (C.7)</i>	.....	<i>109</i>
<i>Equation (C.8)</i>	.....	<i>110</i>
<i>Equation (C.9)</i>	.....	<i>110</i>
<i>Equation (C.10)</i>	.....	<i>111</i>

NOMENCLATURE

v_x, u	composante de la vitesse suivant l'axe(X) [m /S]
v_y, v	composante de la vitesse suivant l'axe(Y) [m /S]
v_z, w	composante de la vitesse suivant l'axe (Z) [m /S]
u_i	composante de la vitesse [m /S]
U	la vitesse [m/s]
U _i	la vitesse [m /S]
T	température[K]
T ₀	température[K]
ρ	mase volumique [kgm ⁻³]
ρ_0	mase volumique à T ₀ [kgm ⁻³]
C _p	capacité calorifique [wkg ⁻¹ °C ⁻¹]
t	temps [s]
λ_x	la conductivité thermique de fluide selon l'axe(x).
λ_y	la conductivité thermique de fluide selon l'axe(y).
λ_z	la conductivité thermique de fluide selon l'axe(z).
λ	la conductivité thermique de fluide
β	coefficient de dilatation [k ⁻¹]
P	pression [Pa]
μ	viscosité dynamique [kgm ⁻¹ s ⁻¹]
μ_t	viscosité dynamique turbulente [kgm ⁻¹ s ⁻¹]
ε	dissipation de l'énergie cénétique [m ² s ⁻³]
k	énergie cénétique turbulente [m ² s ⁻²]
q'''	sources de chaleur q'apartient le système.
a	diffusivité thermique [m ² s ⁻¹]
g, g _i	gravité [ms ⁻²]
ν	viscosité cinématique [m ² s ⁻¹]
\overline{U}_i	partie moyenne de la vitesse
\overline{T}	partie moyenne de la temperature
u_i'	partie fluctuante de la vitesse
\overline{P}	partie moyenne de la pression

θ	partie fluctuante de la température
ν_t	viscosité cinématique turbulente $[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$
l_m	longueur de mélange $[\text{m}]$
q_p	flux emis par le mur $[\text{kWm}^{-2}]$
A_{Dr}	constante de van Driest (=26)
ΔT	la différence de température entre la paroi et le fluide au point P.
E	constante empirique caractérisant la rugosité de la paroi ($E = 9.81$).
K	la constante de Von Karman (égale à 0.42).
U_*	la vitesse de frottement.
τ_w	la contrainte de cisaillement au mur.
y^+	la distance adimensionnée du point P à la paroi.
ε_p	la valeur de ε au point P.
K_p	calculé à partir de l'équation de transport de K .
R_{ij}	contraintes de Reynolds $[\text{Pa}]$
τ_{ij}	contraintes visqueuses $[\text{Pa}]$
τ_p	contrainte aux parois $[\text{Pa}]$
Ω_n	un volume fini local $[\text{m}^3]$
ϕ	quantité physique quelconque (variable)
ϕ_n	quantité physique élémentaire
δ_{ij}	symbole de kronecker
Γ	le coefficient de la diffusion
Ω	volume de domaine $[\text{m}^3]$
Ω_n	un volume fini local $[\text{m}^3]$
S_ϕ	terme source.
f	Fonction quelconque.
f^c	flux convectif.
f^d	flux diffusif.
α_1, α_2	Coefficients de l'interpolation.
\hat{o}	La couche limite.

Nombres adimensionnels.

Re	nombre de Reynolds
Gr	nombre de Grashoff
Ra	nombre de Rayleigh
Pr	nombre de Prandtl moléculaire
Pr_t	nombre de Prandtl turbulent,
Pe	nombre de Peclet

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE.

Jusqu'à un passé récent, la puissance était pratiquement le seul critère technique pour le choix et l'installation de l'appareil devant réaliser l'apport de chaleur ou de froid pour le chauffage ou la climatisation des locaux. Avec les exigences croissantes de la réglementation thermique et l'usage de plus en plus répandu d'appareils à circulation forcée, on ne peut plus se contenter d'envoyer dans le local cet air chauffé ou refroidi à la température et au débit convenable, mais il faut aussi se préoccuper de la manière dont il circule dans l'espace occupé. Faute de quoi on risque d'y créer des zones inconfortables dues à de trop grandes hétérogénéités de température ou à des vitesses locales de l'air excessives.

Il existe trois approches permettant d'étudier le problème du cheminement de l'air dans un local : l'expérience, la simulation numérique et l'utilisation de formules simplifiées permettant de déterminer les vitesses et températures d'air dans le local, sachant que ces deux paramètres sont déterminants pour l'évaluation du confort.

*Le thème du présent travail vise à étudier le comportement thermique des locaux d'habitation chauffés ou rafraîchis (dans notre cas, ce sont des systèmes de ventilation), et à préciser l'influence des systèmes sur la distribution des températures et des vitesses de l'air dans les locaux. Pour cela, nous nous sommes attachés à visualiser les écoulements d'air et à connaître les champs de vitesse et de température à l'aide d'un code de champs (**Computational fluid dynamics CFD**).*

*Nous avons choisi pour atteindre ce but, la modélisation à l'aide du code de champs **Fluent**, dans l'étude de cinq cas.*

*Dans le premier chapitre nous présentons les différentes méthodes de modélisation retenues pour la prédiction des transferts de masse et de chaleur dans un bâtiment. Pour chacun des objectifs de chacune des méthodes de modélisation (**nodale, zonale et CFD**), qui sont dans notre cas le confort thermique, l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un bâtiment, ou de la qualité de l'air au sein d'une zone de celui-ci, il nous faudra évaluer l'intérêt d'utiliser une méthode plutôt qu'une autre, en mesurant le compromis entre temps de simulation et précision des résultats.*

*La deuxième partie de ce chapitre, représente une synthèse de la recherche bibliographique, qui permettra de résumer les travaux de la recherche réalisés pour atteindre les objectifs des méthodes de modélisation (**nodale, zonale et CFD**). Où on peut constate que les méthodes de modélisation à*

Introduction générale

l'aide d'un code champ (CFD), sont difficilement applicables à l'étude d'un bâtiment dans son ensemble et sur de longues périodes de temps. Pour cette raison notre étude sera limitée à un local qui fait partie d'un ensemble d'un bâtiment.

*Dans le deuxième chapitre on doit commencer par citer les équations générales gouvernantes qui régissent les écoulements. Et puis, le principe des codes de champs et les différentes approches qui construisent un modèle CFD, on se basant sur le code **Fluent**. Sans oublier les modèles de turbulence en particulier le modèle d'équations (**k-ε**) associé à l'hypothèse de type **Boussinesq**. À la fin de ce chapitre nous mettrons l'accent sur la méthode numérique des volumes finis.*

*Dans le troisième chapitre, nous allons appliquer le code de champs **Fluent**, (**Computational fluid dynamics CFD**), avec les différents modèles de turbulences ; dans des configurations différentes, où dans chaque cas nous allons détailler la géométrie du local, en suite le maillage ce cette dernière avec le mailleur **Gambit**, et puis citer les différents conditions aux limites.*

*Et dans le quatrième chapitre nous allons présenter les différents résultats de la modélisation numérique à l'aide de code de **Fluent**, des locaux soumis à différentes sollicitations. Nous allons étudier cinq cas séparés mais complémentaires, où l'objectif est :*

- *Comparer les résultats obtenus avec les Modèles de Turbulences **RANS (k-ε) RNG**, **RANS (k-ε) Standard**, et **LES**, et montrer la difficulté de prédire correctement le phénomène de convection naturelle dans des configurations complexes à l'aide de code **CFD**.*
- *Satisfaire l'indépendance des résultats par rapport à la densité de la grille, par s'effectué des études des même cas plusieurs fois en jouant sur la taille des mailles de grossières vers suffisamment fines.*
- *caractériser la qualité de prédiction des différents modèles de modélisation en comparant leurs résultats aux données expérimentales, en se basant sur le modèle **RANS (k-ε)**, associé à l'hypothèse de type **boussinesq**.*
- *Détermination numérique des zones de confort et d'inconfort, et Illustration virtuellement des mouvements d'air dans un local (la distribution de température et de vitesse).*

Introduction générale

- Prédiction des performances thermo-aérauliques d'un local dans un bâtiment par association de modèle de code de champs **CFD**, avec différents niveaux de finesse. Et améliorer le transfert de chaleur en agissant sur les conditions thermiques de local.

- Etude de la Sensibilité des résultats obtenus aux conditions aux limites (entrées, type de murs,..).

Et pour des raisons de validation avec les résultats expérimentaux, ainsi que l'objectif à atteindre par notre étude dans chaque cas, nous avons commencé par une étude comparative en **(2D)**, entre les résultats numériques obtenus à l'aide du code de champs « **Fluent** » avec des différents modèles de turbulences ; **RANS (k-ε) RNG**, **RANS (k-ε) Standard**, et **LES** ; dans des configurations différentes. Et nous avons choisi pour le cas de la géométrie simple le travail de K.BEN NASER (2006), dont la configuration du local est carrée et sans obstacles à l'intérieur du local (simple). Pour le cas de la géométrie complexe, le travail de CHEN (1996). (MORA,2003). Dans les conditions de convection naturelle.

-Puis nous étudierons dans un deuxième temps en **(2D)** aussi, deux cavités ventilées, l'une dans des conditions de convection forcée, cavité de NIELSEN (NIELSEN et RESTIVO, 1978), et l'autre dans des conditions de convection mixte, cavité de ZHANG. (ZHANG et al., 1992).

- Enfin, nous étudierons en **(3D)** une salle de classe, en période d'inoccupation, menée d'un système de ventilation mécanique. Cette étude est réalisée par : REGARD (1996). Quant à la fin de chaque cas, nous regroupons les résultats et les commentaires relatifs à cette étude ayant fait l'objet de cette application.

À la fin de ce travail nous regroupons dans une conclusion générale les résultats obtenus par ce travail en répondant la problématique posée dès le début.