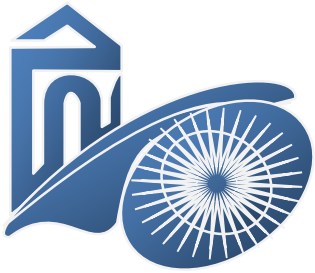
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie la Matière
Spécialité Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Option : Energétique et thermique des systèmes

THÈME :

Etude Numérique de l'Ecoulement du Vent dans une Rue à configuration décalée

Proposé et dirigé par :
Dr. ALLICHE Mounir

Présenté par :
RAHMOUNI Moussa

Co- Encadré par :
Dr. KORICHI Abdelkader

Promotion 2012-2013

Remerciements

Tout d'abord, Louange à Allah qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa Miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à mon promoteur Monsieur Docteur ALLICHE Mounir, qu'il a fait preuve d'une grande patience et a été un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permet de mener à terme de ce projet.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur Docteur kORICHI Abdelkader, mon Co-promoteur pour ses conseils, son assistance, son suivi et son soutient.

Je remercie Messieurs les membres du jury pour leur collaboration durant l'examen de ce travail et leur participation à ma soutenance.

Merci à tous ceux qui, à un moment ou un autre, nous ont apporté leur savoir faire, en particulier REBHI Redha.

Dédicaces

- *Je dédie ce modeste travail*

- *A mes très chers parents surtout ma mère qui M'ont aidé et Encouragé durant toutes mes études.*

- *A mes chers frères et chères sœurs et surtout la petite ; Merieme hiba et Imane.*

- *A toutes les familles Rahmouni, Chrigui, Boudis et ; ainsi que tous mes proches.*

- *A tous mes amis de l'université de Médéa.*

الملخص :

أعمال المذكرة تهدف لدراسة السلوك الحركي الهوائي لتدفق الرياح في المناطق العمرانية لتطبيقاتها في عدة مجالات, لمزيد من المعلومات شرعنا في إجراء دراسة عن طريق محاكاة عددية ثلاثية الأبعاد لتدفق الرياح بدون نقل حراري.

في هذه الدراسة قمنا بالتركيز على ثلاث عوامل أساسية لفهم هذه الظاهرة وهي سرعة الرياح, الارتفاع وكذا المسافة الفاصلة بين الكتل, المحاكاة العددية أجريت بأبعاد حقيقية مع استخدام نموذج k-ε.

هذه الدراسة أدت بنا إلى تعيين المناطق الأشد تأثرا بتركيز الملوثات وهي المناطق التي بعد الكتل في اتجاه الرياح والمنطقة الوسطى التي بين صفوف الكتل. تأثير العوامل المذكورة سابقا على حجم ومركز مناطق الدوامات, الكساد ومناطق الفصل واضح من خلال هذه الدراسة.

كلمات البحث : محاكاة عددية, مناطق الدوامات, الكساد, مناطق الفصل. تدفق الهواء

Résumé :

Ce travail a pour but d'étudier le comportement aérodynamique de l'écoulement du vent dans les zones urbaines vu leurs larges applications dans plusieurs domaines.Pour avoir plus d'informations, une étude a été entamée par simulation numérique tridimensionnelle de l'écoulement du vent sans transfert de chaleur.

Dans cette étude, nous concentrons sur trois facteurs importants qui sont : la vitesse du vent, le niveau d'élévation en hauteur, ainsi que la distance entre les blocs.Pour ce faire, on a utilisé le code de calcul CFX en dimensions réels. Le modèle de turbulence k-ε a été adopté pour cette étude.

L'étude, nous a conduit à identifier les zones les plus touchées et qui sont susceptibles d'être des zones de concentrations de polluants ; ce sont les régions après les obstacles dans la direction du vent et la zone intermédiaire entre les rangées de blocs. L'effet des facteurs mentionnés précédemment sur la taille et le centre des zones de recirculation, de stagnation et de séparation est aussi mis en évidence lors de cette étude.

Mots-clés : simulation numérique, zones de recirculation, stagnation, séparation, CFD, écoulement d'air.

Abstract:

The thesis work aims to study the aerodynamic behavior wind flow in urban areas because of their industrial applications in several areas, for more informationa study was

initiated by the numerical simulation of three dimensional flows of wind flow without heat transfer.

In this study, we focus on three key factors to understand this phenomenon, the wind speed, height, as well as the distance between block, With this intention numerical simulations in dimensions realities Using a CFX code, we have adopted k-ε model for turbulent flow.

This study us resulted in identifying the most touched zones and which is likely to be zones of concentrations of pollutants; they are the areas after the obstacles in the direction of the wind and the intermediate zone enters the lines of blocks. The influence of the factors mentioned previously on the size and the centers of the zones of recirculation, of stagnation of and of separation is also highlighted at the time of this study.

Key words: numerical simulations, zones of recirculation, stagnation, separation, CFD, air flow.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Ecoulement laminaire [9]……. 5

Figure 1.2 : Ecoulement turbulent [9]……. 5

Figure 1.3 : Ecoulement tourbillonnaire [9]…… 6

Figure 1.4 : Phénomènes induits par la transition naturelle [16]…… 6

Figure 1.5 : La Couche limite [9]……... 7

Figure 1.6 : L'influence de la forme d'obstacle sur l'écoulement [17]…….. 9

Figure 1.7 : Cisaillement horizontal [17]…… 9

Figure 1.8 : Cisaillement vertical [17]…… 10

Figure 1.9 : L'effet du gradient de vent [17]……... 10

Figure 1.10 : Résolution des équations de Navier-Stokes. Modélisation de la turbulence [11] …….. 12

Figure 4.1 : vue dessus de la géométrie……. 26

Figure 4.2 : La géométrie en 3D…… 27

Figure 4.3 : Influence du maillage sur le profil de vitesse (en x = 22,5m)…… 28

Figure 4.4 : Influence du maillage sur le profil de vitesse (en x = 76,5m)…… 28

Figure 4.5 : Influence du maillage sur le profil de vitesse (en z = 22,5m) …… 29

Figure 4.6 : Influence du maillage sur le profil de vitesse (en z = 82,5m) …… 29

Figure 5.1 : les lignes du courant pour différentes vitesses d'entrée (u=2m/s, u=5m/s, u=10m/s et u=20m/s respectivement sur le niveau y=H/2)……. 32

Figure 5.2 : profils de vitesse pour différentes vitesses d'entrée du vent…….. 33

Figure 5.3 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour différentes vitesse…….. 33

Figure 5.4 : les lignes de courant de vitesse pour u=5m/s (pour les niveaux y=H/2, H, 2H et 5Hrespectivement)…….. 38

Figure 5.5 : profils de vitesse pour différentes hauteurs …… 39

Figure 5.6 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour différentes hauteurs …… 40

Figure 5.7 : les plans en 3D……. 41

Figure 5.8 : les lignes de courant de vitesse dans le plan 1……. 43

Figure 5.9 : les lignes de courant de vitesse dans le plan 2……. 45

Figure 5.10 : les lignes de courant de vitesse dans le plan 3……... 46

Figure 5.11 : Profils de vitesse pour différentes distances……..... 47

Figure 5.12 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour différentes distances……..... 48

NOMENCLATURE

k	énergie cinétique turbulente par unité de masse	m^2/s^2
ε	dissipation tourbillonnaire de turbulence	m^2/s^3
U	vecteur vitesse	m/s
ρ	densité du fluide	kg/m^3
t	temps	s
S_M	sources de moment	kg/m^2s^2
μ_{eff}	viscosité effective	kg/ms
μ_t	viscosité turbulente	kg/ms
c_μ, $c_{\varepsilon 1}$, $c_{\varepsilon 2}$, σ_ε	constante du modèle de turbulence k-ε	
σ_k	constante des modèles de turbulence pour l'équation de k	
β', β, α , σ_ω	constantes du modèle de turbulence k-ω	
σ_ρ	constante du flottabilité de Boussinesq	
τ	tenseur des contrainte	kg/ms^2
c_3	coefficient de dissipation	
β_1 , β_2, α_1, α_2	constantes du modèle de turbulence k-ω BSL	
H	hauteur de bloc	

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

1 Introduction…….. 1

2 Synthèse Bibliographique…… 2

3 But de travail……. 3

4 Plan de l'étude……... 4

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION GENERALE

1.1 Introduction…… 5

1.2 Les types d'écoulement……. 5

1.2.1 Ecoulement laminaire…… 5

1.2.2 Ecoulement turbulent…… 5

1.2.3 Ecoulement tourbillonnaire……... 6

1.2.4 Passage d'un régime a l'autre……. 6

1.3 La couche limite……. 6

1.4 Les hypothèses sur l'écoulement……... 7

1.4.1 Ecoulement stationnaire…… 7

1.4.2 Fluide incompressible……... 7

1.4.3 Ecoulement non visqueux……. 7

1.4.4 Ecoulement irrotationnel…….. 7

1.5 Les turbulences……... 7

1.6 Turbulences d'obstacle……... 8

1.7 Turbulence de cisaillement……. 9

1.7.1 Cisaillement horizontal……. 9

1.7.2 Cisaillement vertical…….. 10

1.8 Effet de gradient de vitesse du vent……... 10

1.9 Modèle de turbulence……. 11

1.9.1 Codes Navier-Stokes…… 11

1.9.1.1 RANS (Reynolds Average Navier-Stokes équations)…….. 12

1.9.1.1.1 Modèle *k-ε* (standard)…….. 12

1.9.1.1.2 Modèle *k-ω*(Standard)……. 12

1.9.1.1.3 Modèle *k-ω* SST…….. 13

1.9.1.2 Simulation des grandes échelles. LES (Large Eddy Simulation)……. 13

1.9.1.3 DNS (Direct Numerical Simulation)…… 13

1.10 La pollution Atmosphérique……... 13

CHAPITRE 2 : FORMULATIONSMATHEMATIQUES

2.1 Introduction…… 15

2.2 Equations de quantité de mouvement (de Navier Stokes)……. 15

2.3 Le modèle turbulent k- ε…… 15

2.3.1 Equation de continuité…….. 15

2.3.2 Equation de moment……. 16

2.4 Le modèle RNG k-*ε* ……. 17

2.5 Le modèle turbulent k- ω……... 17

2.5.1 Le modèle turbulent k-*ω* de Wilcox……. 17

2.5.1.1 L'équation de transport de *k* …… 18

2.5.1.2 L'équation de transport de ω…… 18

2.5.2 Le modèle turbulent k-*ω* de Baseline……... 19

2.5.2.1 Le modèle de Wilcox……... 19

2.5.2.2 Le modèle k-ε transformé…… 20

2.6 Le modèle turbulent k-*ω* basé sur le transport des contraintes de cisaillement (Shear Stress Transport) : k-*ω*SST……. 21

CHAPITRE 3 : RESOLUTION PAR CFX

3.1 Introduction…… 22

3.2 CFX-Pre…… 22

3.2.1 La géométrie……..... 22

3.2.2 Le maillage……..... 23

3.2.3 La configuration…… 23

3.3 CFX-Solver…… 25

3.4 CFX-Post……... 25

CHAPITRE 4 : CONFIGURATION ET SENSIBILITE AU MAILLAGE

4.1 Introduction……... 26

4.2 La configuration géométrique…… 26

4.3 La sensibilité au maillage……... 27

CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSION

5 .1 Introduction …….. 31

5.2 L'effet de la vitesse……... 31

5.2.1 Introduction……. 31

5.2.2 L'analyse……. 35

5.3 Examen de altitude……..... 36

5.3.1 Introduction……. 36

5.3.2 L'analyse……. 36

5.4 L'effet de la distance D entre blocs …….. 41

5.4.1 Introduction……. 41

5.4.2 L'analyse……. 41

5.4.3 Conclusion……... 44

Conclusion générale…… 52

Référence bibliographique……... 54

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction:

Récemment, l'amélioration de la qualité d'air de l'atmosphère est devenue une préoccupation d'urgence en raison de son influence directe sur la santé des personnes. L'aménagement urbain où vivent ces personnes joue un rôle très important dans ce contexte. En effet, les éléments de la verrière urbaine sont les obstacles artificiels pour l'écoulement de l'air, créant les conditions de formation des régions de stagnation, où la pollution du trafic et des entreprises d'industrie s'accumulent. C'est pourquoi le problème de la détection fortement polluée de secteurs et les études de leurs conditions de formation dans les villes surgit.

En outre, la surveillance continue de la qualité d'air est un problème d'actualité. Même, les grandes villes peuvent avoir seulement quelques stations de surveillance. Ceci impose l'utilisation de méthodes efficaces permettent de fournir une interpolation spatiale et temporelle des données surveillées afin de contrôler la qualité de l'air selon les normes admissibles dans une région donnée.

D'autre part, l'apparition des ordinateurs de plus en plus puissants a permis le développement de plus puissant outils qui offre des possibilités intéressantes de satisfaire la nouvelle demande des prévisions des modèles. Ces nouveaux outils sont les modèles météorologiques de micro-échelle du type pronostique ou diagnostique. Les modèles pronostiques sont basés sur les équations de Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), tandis que les modèles diagnostiques sont moins sophistiqués et assurent seulement la conservation de la masse. Ces deux types modèles sont actuellement complétés par encore des outils plus simples de technologie.

Les modèles météorologiques de micro-échelle sont spéciales parce qu'ils sont conçus en fonction des besoins des météorologistes. Ils sont ajustés sur des tailles de domaine de l'ordre de plusieurs décamètres à quelques kilomètres (gorges de rue, quarts de ville). Ils emploient habituellement les états de frontière basés sur les caractéristiques extérieures [1]

Dans ce cadre, un effort considérable a été fait par différents établissements universitaires, des agences de recherches et les organismes gouvernementaux pour comprendre l'effet d'un grand nombre d'obstacles discrets (bâtiments, végétation, trafic, etc..) sur l'écoulement de l'air atmosphérique dans les couches-frontières en raison de son importance dans

beaucoup d'aspects de la météorologie, de la technologie de vent, et de la science environnementale.

Au commencement ces études ont été concentrées sur le cube fixé au mur simple en objets par exemple dans des écoulements turbulents (Ferziger, 1993, Iaccarino et autres, 2003, Martinuzzi et Tropea, 1993, Shah et Ferziger, 1997, Yakhot et al, 2006, Meinders et al, 1991, Hussein et Martinuzzi, 1996, Gao et Chow, 2005, SeetaRatnam et Vengadesan, 2008, Meinders et Hanjalic, 2002).

Plus tard, la recherche a été élargie pour couvrir l'étude du flux d'air et la dispersion de polluant dans un ensemble des bâtiments (Baik et Kim, 1999, Chang et Meroney, 2003, Eliasson et al, 2006, Gerdes et Olivari, 1999, Hanna et autres, 2002, Kastner-Klein et al, 2001, 10 Kastner-Klein et Plate, 1999, Pavageau et Schatzmann, 1999, Di Sabatino et al, 2008).[1]

Dans ce contexte, et afin d'avoir une vision plus approfondie, on présente une synthèse bibliographiques de quelques travaux disponibles balayant les dix dernières années.

2. Synthèse Bibliographique :

J. Ehrharda, N. Moussiopoulos (2000) [2] ont proposé un nouveau modèle non linéaire de turbulence qui maintient des tenseurs de contrainte et de verticité au niveau cubique, pour prévoir le transport et la dispersion des polluants à proximité des bâtiments. La confrontation entre cette méthode et des deux méthodes (expérimentale et standard $k-\varepsilon$) ont données des résultats convenables avec des avantages en temps environ 15%.

M. Bouterra et al. (2003) [3] ont effectué une étude numérique bidimensionnelle sur l'effet de la Stratification Thermique et la Dispersion d'un Polluant autour d'un Obstacle. L'étude est faite par L.E.S (la technique de Simulation des Grosses Structures). Pour le premier cas de la dispersion de polluant ayant la même densité que l'air ambiant, les auteurs ont pu déterminer que la dispersion de polluant est exclusivement tributaire des mouvements turbulents présents, le mécanisme dominant de la dispersion étant la convection. Pour le deuxième cas concernant l'effet de la stratification thermique sur les mécanismes de dispersion de polluant, ils ont trouvé que le polluant stagne au niveau de son point d'émission et pourra être émis dans la zone de mélange formé en aval de l'obstacle. Le polluant sera alors transporté par l'écoulement moyen, sur une thermocline entre les deux couches chaude et froide.

XiaominXie et al. (2005) [4] ont étudié l'impact de rayonnement solaire et disposition de rue sur la dispersion d'un polluant dans la rue canyon. La simulation est faite par une approche

CFD. Ils ont confirmé que la géométrie de la rue à une influence forte sur l'écoulement du vent et les modèles de dispersion de la pollution. Le chauffage des surfaces crée une force de flottabilité forte près des surfaces qui reçoivent le rayonnement solaire direct. Ce flux thermique est combiné avec le flux mécanique et modifie le champ d'écoulement et la dispersion d'un polluant.

XiaominXie et al. (2007) [5] ont étudié l'impact des façades de bâtiment et du chauffage au sol sur l'écoulement du vent et le transport de polluant dans la rue canyon. La simulation est faite par CFD. Pour H / W (H représentant la hauteur du bâtiment et W la largeur d'une rue) variant de 0,1 à 2, les résultats ont démontré que l'écoulement du vent et le transport mécaniquement induits de polluant ont été compliqués près la flottabilité sous la stratification de la température.

Cornelia Wevers et al. (2010) [6] ont mené une étude expérimentale et numérique sur la dispersion des particules de pollution due à une source intérieure dans un hall industriel partiellement ouvert. La simulation est faite par CFD. La confrontation des deux méthodes ont données des résultats convenables pour la mesure, dans la direction du vent 0°, du champ de vitesse des gaz et de la particule. Les simulations montrent des distributions semblables et la majeure partie de la pollution a passé à l'ouverture. Pour la direction du vent 15°, les calculs montrent un écoulement asymétrique.

Riccardo Buccolieri et al. (2011) [7] ont effectué une étude sur les effets aérodynamiques des arbres sur les flux à l'échelle locale et de la concentration des polluants dans des configurations de rue par des moyens d'expérience en laboratoire de. Ils ont montré que les arbres contribuent pour changer l'écoulement local et pour agir d'emprisonner les polluants.

Matteo Carpentieri et al. (2012) [8] ont comparé des calculs de dispersion de polluant en utilisant un modèle de réseau de rue (SIRANE) aux résultats des expériences de soufflerie dans des secteurs urbains. Pour réponse à trois éléments: la direction du vent, la position de la source et de petites variations de géométrie. L'Analyse des résultats a prouvé que le modèle des sources du niveau du sol est mieux par rapport des sources de niveau de toit. Pour la direction du vent qui était très approximativement diagonale par rapport aux axes de la rue, tandis que les cas du vent avec des directions presque parallèles (moins de 20°) aux axes des rues ont donné des résultats avec de plus grandes incertitudes (ne pas répondre aux objectifs de qualité).

3. But de travail :

Le but de ce travail est d'étudier numériquement les phénomènes de circulation d'air et de dispersion de polluant pour comprendre l'effet des conditions atmosphériques sur

l'environnement urbain représenté par quatre blocs à position décalée. L'étude est tridimensionnelle et sans transfert de chaleur.

La simulation numérique a été faite à l'aide du code de calcul CFX. Une étude paramétrique a été menée pour comparer l'effet de différentes valeurs de vitesse sur l'énergie cinétique de turbulence.

4. Plan de l'étude :

Ce travail comprend une introduction générale et une étude bibliographique avec cinq chapitres répartis comme suit :

a. le premier chapitre comporte une description générale sur l'écoulement autour d'obstacles. Les modèles de turbulence sont aussi présentés.

b. Dans le deuxième chapitre, nous exposons les équations mathématiques qui gouvernent le phénomène physique à étudier.

c. Le troisième chapitre interprète la procédure de résolution par le code CFX.

d. Dans le quatrième chapitre, nous présentons la configuration géométrique et la sensibilité au maillage.

e. Dans le cinquième chapitre nous présentons nos résultats numériques et les discutions des résultats trouvés

f. On achève notre étude par une conclusion générale**.**

CHAPITRE 1

DESCRIPTION

GENERALE

1.1 Introduction :

Les écoulements autour des objets est un phénomène qui se produit fréquemment dans la pratique et nécessaire pour la conception mécanique et thermique de nombreux systèmes en engineering comme : avions, automobiles, bâtiments, composant électroniques, les aubes de turbines et les obstacles cylindrique à section carrée et circulaire. L'indentification et l'étude des phénomènes hydro et aérodynamiques qui surgissent dans le sillage d'un obstacle restent un sujet d'intérêt dans divers domaines. [16]

1.2 Les types d'écoulement :

1.2.1 Ecoulement laminaire :

Les filets d'air suivent des trajectoires rectilignes et parallèles entre elles. [9]

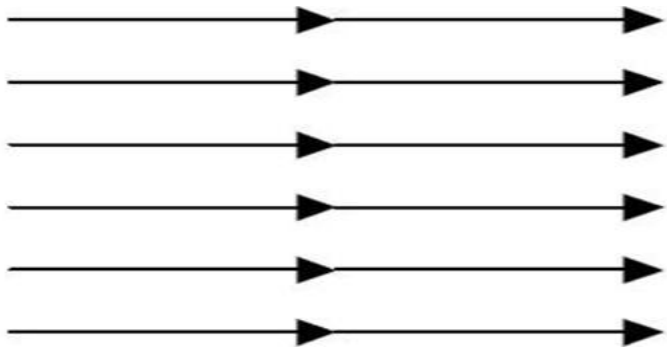


Figure 1.1: Ecoulement laminaire [9]

1.2.2 Ecoulement turbulent :

Les filets d'air suivent des trajectoires quasiment parallèles entre elles, mais qui ne sont plus rectilignes, tout en se déplaçant globalement dans la même direction avec une même vitesse d'ensemble. [9]

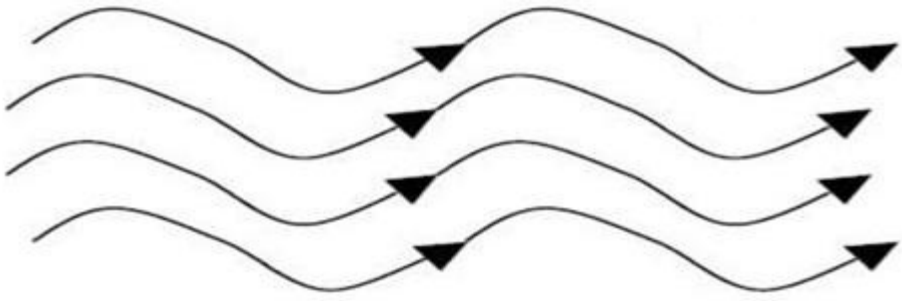


Figure 1.2 : Ecoulement turbulent [9]

1.2.3 Ecoulement tourbillonnaire :

L'ensemble de l'écoulement est très désordonné. Bien que globalement tout l'écoulement d'air se déplace dans la même direction, certaines particules peuvent remonter le courant et former ainsi des tourbillons.[9]

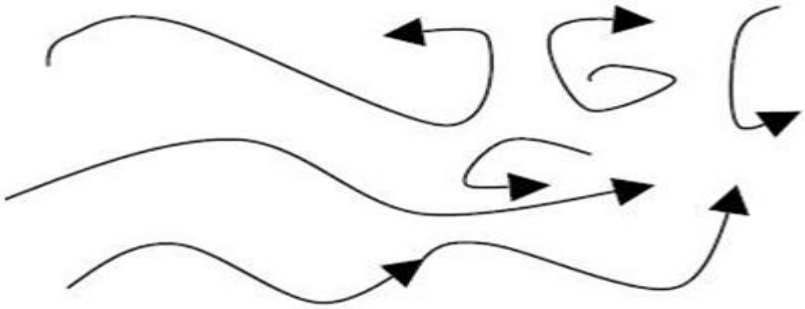


Figure 1.3 : Ecoulement tourbillonnaire [9]

1.2.4 Passage d'un régime à l'autre :

Trois types de transition se présentent. Le premier est appelé transition naturelle où la couche limite laminaire qui développe ce qu'on appelle les ondes de Tollmien- Schlichting suivies par une amplification d'instabilités et finalement d'un écoulement complètement turbulent (figure (1.4)). La transition naturelle se produit habituellement avec de petites perturbations de l'écoulement libre. [16]

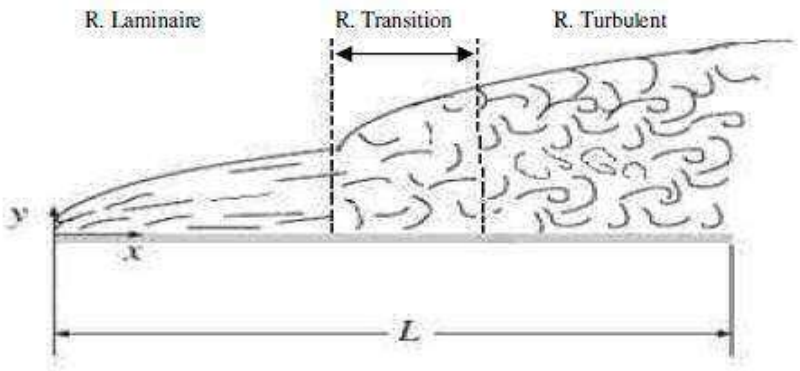


Figure 1.4 : Phénomènes induits par la transition naturelle [16]

1.3 La Couche limite :

Au voisinage d'une surface solide, la vitesse de l'écoulement est ralentie au fur et à mesure que l'on s'en rapproche pour finalement s'annuler au contact de celle-ci. Ce phénomène est causé par la viscosité de l'air. [9]

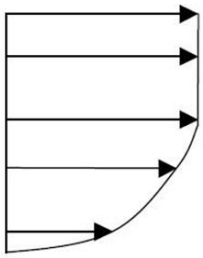


Figure 1.5 : La Couche limite [9]

1.4 Les hypothèses sur l'écoulement :

Pour simplifier le problème, on fait généralement les hypothèses limitatives suivantes :

1.4.1 Ecoulement stationnaire : La vitesse des particules de fluide passant en un point donné ne change pas au cours du temps, que ce soit en module ou en direction.

1.4.2 Fluide incompressible : Le fluide est incompressible. Sa masse spécifique est constante et uniforme.

1.4.3 Ecoulement non visqueux : Dans un fluide, il existe des forces de volume et des forces de surface. Les premières sont des "forces à longue portée" et s'exercent sur des éléments de volume, alors que les forces de surfaces s'exercent entre deux "couches" de fluide. Alors que pour un fluide en équilibre, les forces de surface ne peuvent être que normales (ce sont les forces de pression).Dans l'étude du mouvement des fluides, les forces de surface tangentielles participent directement au mouvement du fluide et agissent comme des forces de frottement, les couches de fluide rapides entrainant les couches lentes. La composante tangentielle des forces de surface est appelée "force de viscosité". Elle caractérise les fluides réels visqueux.

1.4.4 Ecoulement irrotationnel : On considère uniquement les écoulements dans lesquels les éléments de fluide tournent autour d'un axe passant par son centre de masse. [10]

1.5 Les turbulences :

De manière générale, il y a turbulence lorsqu'il y a :

- **conflit entre deux masses d'air** : Ce conflit peut se jouer entre deux masses d'air de très grande taille (turbulences au voisinage des fronts météo) ou bien au contraire de petite taille (aux abords d'un thermique par exemple). Elle produit des cisaillements.
- **conflit entre une masse d'air et un obstacle** : Montagne, maison, arbre; sol rugueux,..[17]

1.6 Turbulences d'obstacle :

Une masse d'air en mouvement en l'absence d'obstacles à un écoulement dit laminaire. Cela veut dire que l'air s'écoule sans aucun problème, rien ne freine ni ne perturbe son passage.

Lorsque l'air vient buter contre un obstacle sous l'effet du vent il est freiné, cherche à contourner l'obstacle et à l'escalader. L'obstacle peut être de taille et de forme variée : un massif, une montagne, un arbre, une maison, une falaise, un gros rocher, un autre parapente, un sol rugueux,...

La perturbation engendrée par l'interaction de l'air et de l'obstacle peut donner lieu à deux phénomènes :

- **une turbulence :** Si l'obstacle est assez perpendiculaire à l'écoulement de l'air.
- **un gradient :** Si l'obstacle est très allongé parallèlement à l'écoulement.

Dans le cas où l'obstacle est disposé perpendiculairement à l'écoulement, son franchissement provoque une désorganisation de l'écoulement :

- à l'avant de l'obstacle, là où l'air vient buter
- sur les côtés, là où l'air s'écoule pour contourner l'obstacle
- au sommet, lorsque l'air escalade l'obstacle,
- derrière l'obstacle, lorsque l'air cherche à reprendre son écoulement normal.

Cependant, l'étendue des zones turbulentes et leur importance dépendent de plusieurs facteurs :

- **la vitesse du vent :** Plus elle est élevée, plus il ya de turbulence
- **la température de l'air :** Un air froid engendre plus de turbulence qu'un air chaud car il est plus dense.
- **la forme de l'obstacle :** Surface apparente à l'écoulement, forme, profil. En effet si l'obstacle présente face à l'écoulement une surface importante et raide (immeuble, falaise,...) la turbulence sera plus importante que pour un obstacle plus petit ou moins raide (arbuste, colline douce,...). De manière plus générale, toute forme anguleuse, toute rupture de pente, en n'accompagnant pas correctement l'écoulement des filets d'air, est génératrice de turbulences [17]

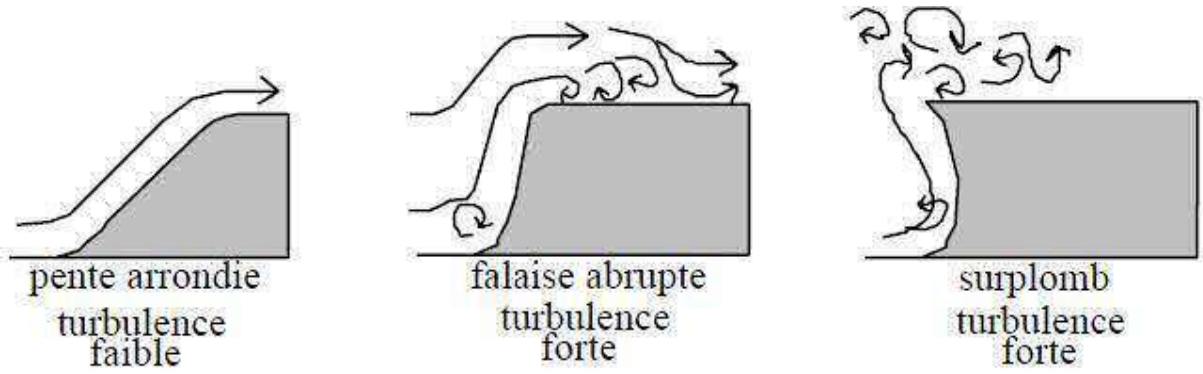


Figure 1.6 : L'influence de la forme d'obstacle sur l'écoulement [17]

1.7 Turbulence de cisaillement :

On appelle cisaillement toute différence de vitesse ou de direction du vent entre deux masses d'air voisines. La zone où ces deux masses d'air s'affrontent est le siège de courants désorganisés plus ou moins importants : les turbulences. Cette zone de turbulence peut avoir une épaisseur et une violence très variable, difficile à prévoir.

On distingue deux cas particuliers : le cisaillement horizontal et le cisaillement vertical. [17]

1.7.1 Cisaillement horizontal :

Lorsque deux couches d'air placées l'une au-dessus de l'autre ont des vents différents en direction ou en vitesse, le cisaillement est dit horizontal. Par exemple, si la journée est ensoleillée provoquant de forts gradients thermiques, mais le vent météo n'est pas négligeable. Ces courants ascendants s'élèvent et entrent en conflit avec le vent météo dont la vitesse et la direction sont différentes. Il se crée donc à la hauteur des lignes de crêtes une zone de cisaillement qui peut être dangereuse près du relief [17]

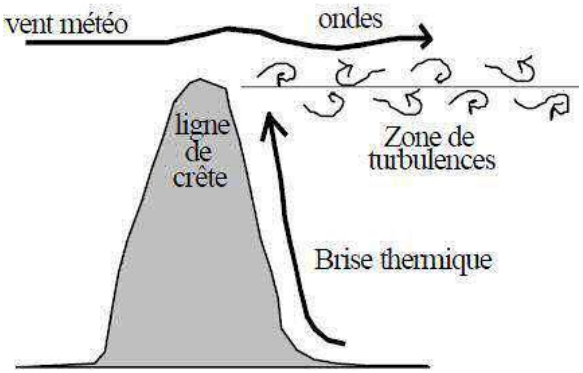


Figure 1.7 : Cisaillement horizontal [17]

1.7.2 Cisaillement vertical :

Les cellules produisent des courants ascendants par conduction et des courants latéraux et descendants de convection aux abords des zones s'échauffant moins. Ces courants s'affrontent en créant des zones de cisaillement vertical. L'entrée dans une zone ascendante se signale par la traversée d'une zone turbulente plus ou moins marquée.

La turbulence de cisaillement est un phénomène complexe et général : dès lors que deux masses d'air ont des caractéristiques différentes (vitesse, direction,...), il faut s'attendre à des turbulences de part et d'autre de la zone de contact. On peut évoquer quelques cas particuliers comme : conflit entre la brise de pente et le vent météo, entre les zones descendantes et ascendantes, conflit entre les brises montant sur chaque versant d'une montagne qui donne lieu aux turbulences vers les lignes de crêtes, conflit entre deux masses d'air (arrivée d'un front),... [17]

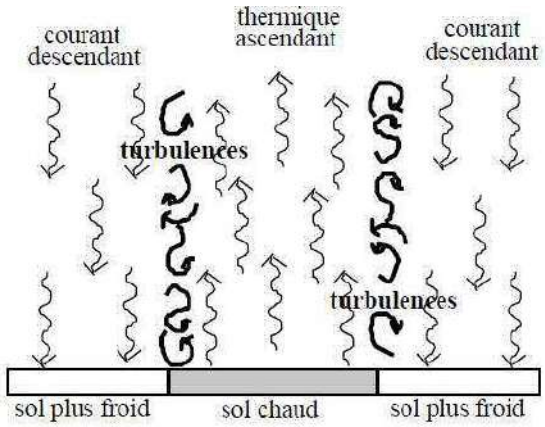


Figure 1.8 : Cisaillement vertical [17]

1.8 Effet du gradient de vitesse du vent :

Même un sol lisse influe sur l'écoulement de l'air. Le frottement de la masse d'air sur le sol dissipe une partie de l'énergie du vent. Par conséquent la vitesse du vent va être de plus en plus faible au fur et à mesure qu'on se rapproche du sol [17].

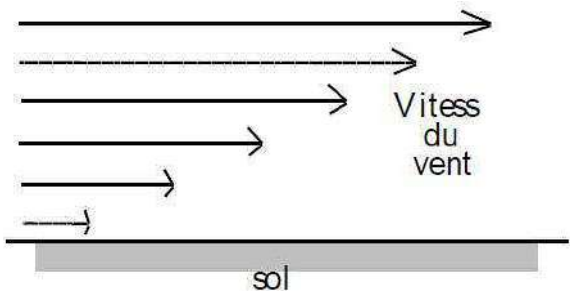


Figure 1.9 : Effet du gradient de vitesse du vent [17]

1.9 Modèles de turbulence :

La turbulence consiste en des fluctuations dans le flux par rapport au temps et à l'espace. C'est un processus complexe, principalement à cause du fait qu'il est tridimensionnel, instationnaire et réside en plusieurs échelles. Elle peut avoir un fort impact sur la caractéristique du flux. La turbulence apparaît quand les forces inertielles dans le fluide deviennent significatives par rapport aux forces de viscosité, et est caractérisée par un fort nombre de Reynolds.

En principe, les équations de Navier-Stokes décrivent à la fois les flux laminaires et les flux turbulents sans qu'il y ait besoin d'ajouter des informations complémentaires. Cependant les flux turbulents à des nombres de Reynolds réalistes sont caractérisés par un large panel de longueur caractéristique et d'échelle de temps, et généralement implique des échelles de longueur plus petites que la plus fine des mailles de volume fini qui peut être utilisée dans une analyse numérique.

Pour permettre la prédiction des effets de la turbulence, une grande quantité des recherches en simulation numérique de la dynamique des fluide (Computational Fluid Dynamics : CFD) s'est concentré sur des méthodes utilisant des modèles de turbulence. Ces modèles de turbulence ont été spécialement développés pour tenir compte des effets de la turbulence sans avoir recours à un maillage trop fin et à la simulation numérique directe. La plupart des modèles de turbulence sont des modèles statistiques. Quelques modèles de turbulence dans ANSYS CFX font exception : le modèle de simulation de large tourbillons (Large Eddy Simulation model : LES) et le modèle de simulation de tourbillons détachés (Detached Eddy Simulation model: DES). [13]

1.9.1 Codes solveurs des Equations de Navier-Stokes :

La résolution des équations de Navier-Stokes représente la dernière marche de l'échelle dans les problèmes liés à la dynamique des fluides.

Pour arriver à ce niveau, des progrès très importants ont été réalisés dans le développement des techniques numériques, la génération de maillages, la modélisation de la turbulence, la rigueur de l'application des conditions aux limites, le pré et le post-traitement des données ainsi que dans les ressources informatiques.

La simulation des écoulements turbulents, internes ou externes, est un problème difficile à résoudre et à valider. La figure ci-dessus résume les différentes méthodes utilisées pour la modélisation de la turbulence dans les équations de Navier-Stokes. [11]

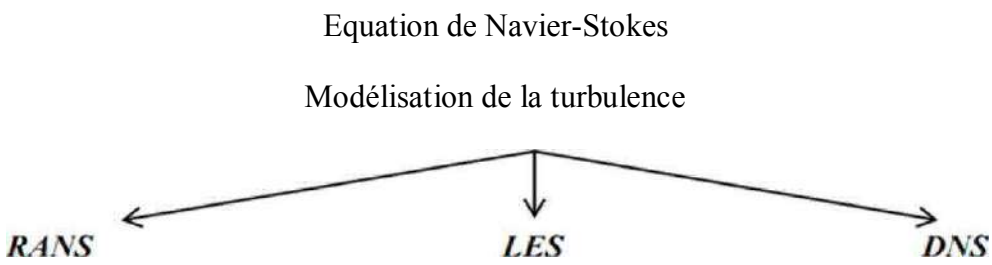


Figure1.10 : Résolution des équations de Navier-Stokes. Modélisation de la turbulence [11]

1.9.1.1 RANS (Reynolds Average Navier-Stokes équations) :

Connues aussi connue méthodes statistiques, les modèles RANS représentent l'approche la plus répandue pour la résolution des équations de Navier-Stokes. Elles procèdent directement en moyenne des équations de Navier-Stokes en redéfinissant les variables comme la sommation de deux valeurs : une valeur moyenne et une valeur fluctuante.

Ainsi, pour une variable arbitraire quelconque. On présente ci-dessous, les principales caractéristiques de trois des modèles de turbulence à deux équations. Ces modèles sont basés sur l'hypothèse de Boussinesq (viscosité turbulente isotropique). [11]

1.9.1.1.1 Modèle *k-ε* (standard) :

C'est le plus célèbre des modèles de turbulence. Etant une méthode très stable et numériquement robuste, elle est implémentée dans la majorité des logiciels commerciaux de CFD. Ce modèle permet d'étudier convenablement un certain nombre d'écoulements, mais il présente certaines défaillances pour les simulations des écoulements turbulents à faible nombre de Reynolds. En conséquence, il n'est applicable que loin des parois. Pour contourner cette limitation, des lois de parois sont associées à ce modèle, compromettant parfois la stabilité numérique. [11]

1.9.1.1.2 Modèle *k-ω*(Standard) :

Ce modèle n'a pas besoin de l'incorporation de fonctions non-linéaires pour la simulation à faibles nombres de Reynolds. Néanmoins, l'implémentation de ce modèle exige une taille de maille près des parois très fine ($y+ < 2$), condition, pas facilement réalisable dans la plupart des cas. Pour résoudre cela, une fonction de proximité des parois est incorporée. Elle garantit une transition lissée à partir de la formulation à bas nombre de Reynolds vers la loi de parois. [11]

1.9.1.1.3 Modèle *k-ω* SST :

En incorporant les effets de transport dans la formulation de la viscosité turbulente, ce modèle améliore considérablement la prédiction du début du décollement ainsi que sa taille. En fait, les modèles standards à deux équations présentent des problèmes pour une prédiction efficace de ce phénomène. [11]

1.9.1.2 Simulation des grandes échelles. LES (Large Eddy Simulation) :

La simulation LES permet de simuler numériquement la plupart des écoulements réels en prenant en compte les grandes structures turbulentes, qui sont les plus importantes pour les quantités de transport. L'idée majeure de cette méthode est de considérer que l'intégralité de l'agitation turbulente cesse d'être aléatoire. [11]

1.9.1.3 DNS (Direct Numerical Simulation) :

La DNS peut être considéré comme le prolongement logique dans la mesure où elle exclut toute modélisation de l'agitation turbulente. Elle consiste à résoudre numériquement les équations tridimensionnelles instationnaires de Navier-Stokes en prenant en compte toutes les plus petites échelles de turbulence sans avoir besoin d'aucune relation de fermeture additionnelle.

Ces méthodes exigent encore plus d'espace mémoire et de temps de calcul que les méthodes de simulation des grandes échelles et sont donc les plus coûteuses. Elles appartiennent encore au domaine de la recherche et permettent notamment d'analyser les phénomènes associés aux petites échelles et en particulier les schémas de sous-mailles. Elles permettent d'effectuer de véritables « expériences numériques » dont les résultats peuvent tout à la fois venir compléter la connaissance tirée d'expérimentations physiques classiques ou servir de support à l'élaboration de modèles d'autres catégories.[11]

1.10 La Pollution Atmosphérique:

La pollution atmosphérique est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Les niveaux de pollution au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants. Ces phénomènes ont lieu dans la troposphère (la plus basse couche de l'atmosphère).

Des quantités croissantes de gaz et de particules potentiellement nuisibles sont émises dans l'atmosphère et entraînent des dommages à la santé humaine et à l'environnement. Elles

endommagent également, à long terme, les ressources nécessaires au développement durable de la planète.

Pour chacun des polluants, les niveaux atteints sont comparés aux références disponibles. Celles-ci peuvent être des valeurs limites qui doivent obligatoirement être respectées, et dont le dépassement implique l'élaboration de plans de réduction visant à diminuer la pollution.

Il existe également des valeurs cibles, aussi appelées valeurs guides, qui sont indicatives, ainsi que des seuils d'alerte, seuils d'information, seuils de protection de la santé et seuils de protection de la végétation.

Le danger relatif, présenté par les différents polluants gazeux et particulaires pour la santé, varie avec la concentration de ces polluants dans le temps et dans l'espace. Ainsi, les effets sur la santé de ces polluants peuvent varier d'un pays à l'autre. En conséquence, la surveillance continue, soignée et attentive des concentrations est nécessaire avant qu'une estimation inacceptable des effets soit faite. [12]

CHAPITRE 2

FORMULATIONS

MATHEMATIQUES

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les modèles numériques utilisés et qui sont implémentés dans ANSYS CFX pour résoudre l'écoulement turbulent en 3D, et donc le calcul des distributions de vitesses dans un fluide sans transfert de chaleur.

Le problème est défini par les lois de conservation de masse, de moment et d'énergie. Ces lois sont exprimées en termes d'équations différentielles partielles qui seront discrétisées avec une technique basée sur la méthode des éléments finis.

Les hypothèses adoptées lors de l'analyse numérique sont les suivantes :

- Le fluide est Newtonien
- Le fluide ne comporte qu'une seule phase
- L'utilisateur doit déterminer si :
  - le problème est laminaire (par défaut) ou turbulent
  - les algorithmes incompressibles (par défaut) ou compressibles doivent être utilisés. [13]

2.2 Equations de quantité de mouvement (de Navier Stokes):

$$\frac{\partial \cup_j}{\partial t} + \cup_j \frac{\partial \cup_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(V \frac{\partial \cup_i}{\partial x_j}\right) \qquad (2\text{-}1)$$

2.3 Le modèle de turbulence k-ε :

k est l'énergie cinétique de turbulence et est défini comme la variance des fluctuations de la vitesse. ε est la dissipation tourbillonnaire de turbulence.

Le modèle k-ε introduit deux nouvelles variables dans le système d'équations. L'équation de continuité et celle du moment sont inchangées. [14]

2.3.1 Equation de continuité :

De la loi de conservation de masse découle directement l'équation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j\right) = 0 \qquad (2\text{-}2)$$

Où : Uest le vecteur de vitesse

ρ : la densité du fluide

t : le temps

2.3.2 Equation de moment :

$$\frac{\partial \rho \cup_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_i \cup_j\right) = -\frac{\partial \mathrm{p}'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu_{eff}\left(\frac{\partial \cup_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \cup_j}{\partial x_i}\right)\right] + S_M \quad (2\text{-}3)$$

Où : S_M représente les termes sources de moment

μ_{eff} est la comptabilité effective de viscosité pour la turbulence

Les termes sources de moment sont les termes que peut ajouter l'utilisateur, comme par exemple la gravité.

Les pertes visqueuses sont éliminées dans le cas de fluides incompressibles avec des propriétés constantes.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (2\text{-}4)$$

Le modèle k-ε fait l'hypothèse que la viscosité de turbulence est liée à l'énergie cinétique de turbulence et à la dissipation par la relation :

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{\mathrm{k}^2}{\varepsilon} \quad (2\text{-}5)$$

Où $C\mu$ est une constante.

Les valeurs de k et ε découlent directement des équations différentielles de transport pour l'énergie cinétique de turbulence et le taux de dissipation de turbulence :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j k\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + \mathrm{p}_k - \rho\varepsilon + \mathrm{p}_{kb} \quad (2\text{-}6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\rho \cup_j \varepsilon\right) = \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial \mathrm{x_j}}\right] + \frac{\varepsilon}{k}\left(c_{\varepsilon 1}\mathrm{p}_k - c_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon + c_{\varepsilon 1}\mathrm{p}_{\varepsilon b}\right) \quad (2\text{-}7)$$

Où $c_{\varepsilon 1}$,$c_{\varepsilon 2}$,σ_k et $\sigma_\varepsilon$sont des constantes données par :

$$c_{\varepsilon 1} = 1.44 \quad (2\text{-}8)$$

$$c_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad (2\text{-}9)$$

$$\sigma_k = 1 \quad (2\text{-}10)$$

$$\sigma_\varepsilon = 1.3 \quad (2\text{-}11)$$

$\mathrm{p}_{kb}\mathrm{etp}_{\varepsilon b}$ représentent l'influence des forces de flottabilité,

p_k est la production de turbulence due aux forces visqueuses et de flottabilités, qui peut être modélisée par :

$$p_k = \mu_t\left(\frac{\partial \cup_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \cup_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial \cup_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3}\frac{\partial \cup_k}{\partial x_k}\left(3\mu_t\frac{\partial \cup_k}{\partial x_k} + \rho_k\right) \quad (2\text{-}12)$$

Pour des flux incompressibles, $\frac{\partial \cup_k}{\partial x_k}$ est petit et le second membre de droite de l'équation (2-12) ne contribue pas de manière significative à la production. Pour un flux compressible, $\frac{\partial \cup_k}{\partial x_k}$est large seulement dans les régions avec de haute divergence de vitesse telle les chocs. [14]

2.4 Le modèle RNG k-ε :

Est basé sur l'analyse de groupe de renormalisation des équations de Navier-Stokes. Les équations de transport pour la génération et la dissipation de turbulence sont identiques à celles pour le modèle standard k-ε, mais les constantes modèles diffèrent, et la constante $c_{\varepsilon 1}$est remplacée par la fonction $c_{\varepsilon 1RNG}$.

L'équation de transport pour la dissipation de turbulence devient:[14]

$$\frac{\partial \rho\varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j \varepsilon\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon RNG}}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + \frac{\varepsilon}{k}\left(c_{\varepsilon 1RNG}\, p_k - c_{\varepsilon 2RNG}\rho\varepsilon + c_{\varepsilon 1RNG}\, p_{\varepsilon b}\right) \quad (2\text{-}13)$$

Où $c_{\varepsilon 1RNG} = 1.42 - f_n$ (2-14)

Et $f_n = \frac{n\left(1-\frac{n}{4.38}\right)}{\left(1+\beta_{RNG}n^3\right)}$ (2-15)

$$n = \sqrt{\frac{p_k}{\rho c_{\mu RNG}\epsilon}} \quad (2\text{-}16)$$

2.5 Le modèle turbulent k- ω :

Le modèle k- ω est une évolution du modèle k- ω BSL (Baseline) qui est lui-même une combinaison du modèle k-ε et du modèle k- ω de Wilcox. [14]

2.5.1 Le modèle turbulent k-ωde Wilcox :

L'un des avantages de la formulation k-ω est le traitement proche du mur pour des simulations à faible nombre de Reynolds. Les modèles k-ω font l'hypothèse que la viscosité de turbulence est liée à l'énergie cinétique de turbulence et à la fréquence turbulente par la relation :

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \tag{2-17}$$

Le modèle k-ω développé par Wilcox résout deux équations de transport, une pour l'énergie cinétique turbulente, *k*, et l'autre pour la fréquence turbulente, ω. Le tenseur des contraintes est calculé à partir du concept de viscosité tourbillonnaire. [14]

2.5.1.1 L'équation de transport de *k* :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\rho \cup_j k\right) = \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}}\right] + \mathrm{p}_k - \beta'\rho k\omega + \mathrm{p}_{kb} \tag{2-18}$$

2.5.1.2 L'équation de transport de ω :

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\rho \cup_j \omega\right) = \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{x_j}}\right] + \alpha\frac{\omega}{k}\mathrm{p}_k - \qquad ^2 + \mathrm{p}_{\omega b} \tag{2-19}$$

$\mathrm{p}_k$est la production de turbulence, qui est calculée comme dans le modèle k-ε.

Les constantes du modèle sont données par :

$$\beta' = 0.09 \tag{2-20}$$

$$\alpha = \frac{5}{9} \tag{2-21}$$

$$\beta = 0.075 \tag{2-22}$$

$$\sigma_k = 2 \tag{2-23}$$

$$\sigma_\omega = 2 \tag{2-24}$$

Le tenseur des contraintes de Reynolds τ est calculé à partir de :

$$\rho\overline{u_i u_j} = \mu_t\left(\frac{\partial \cup_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \cup_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\delta_{ij}(\rho k + \mu_t\frac{\partial \cup_k}{\partial x_k}) \tag{2-25}$$

La formulation est identique est donnée dans les deux équations suivant :

$$\mathrm{p}_{kb} = \frac{\mu_t}{\rho\sigma_\rho} g_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \tag{2-26}$$

$$\mathrm{p}_{kb} = \frac{\mu_t}{\rho\sigma_\rho}\rho\beta g_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \tag{2-27}$$

Les termes de turbulence de flottabilité pour l'équation ω sont dérivés de p_{kb} et $\mathrm{p}_{\omega b}$selon la transformation p_{kb}

Le terme additionnel de flottabilité dans l'équation ωest :

$$\mathrm{p}_{\omega b} = \frac{\omega}{k}((\alpha+1)c_3 \max(\mathrm{p}_{kb}, 0) - \mathrm{p}_{kb}) \quad (2\text{-}28)$$

Le premier terme du côté droit, qui vient de l'équation, est inclus seulement si l'option de turbulence de flottabilité est placée à la production et à la dissipation.

Le deuxième terme provenant de l'équation k, est inclus avec des options de production et de production et de dissipation.

Si l'option directionnelle est permise, alors le premier terme du côté droit est modifié selon l'équation suivante :

$$\mathrm{p}_{\varepsilon \mathrm{b}} = c_3 \max(0, p_{kb}) \cdot \sin \emptyset \quad (2\text{-}29)$$

$$\mathrm{p}_{\omega b} = \frac{\omega}{k}((\alpha+1)c_3 \max(\mathrm{p}_{kb}, 0) \cdot \sin \emptyset - \mathrm{p}_{kb}) \quad (2\text{-}30)$$

Des constantes modèles prises par défaut sont données par:

$\sigma_\rho = 0.9$ pour la flottabilité de Boussinesq.

$\sigma_\rho = 1$ pour le plein modèle de flottabilité.

$c_3 = 1$ Coefficient de Dissipation. [14]

2.5.2 Le modèle turbulent k-ωde Baseline :

Le problème principal du modèle de Wilcox est sa grande sensibilité aux conditions de flux libre. Dépendant de la valeur de ω spécifiée comme entrée, une variation significative dans les résultats peut être obtenue. Cela est indésirable et afin de résoudre le problème un mélange entre le modèle k-ω proche de la surface et le modèle k-ε dans les régions plus éloignées a été développé par Menter. Il s'agit d'une transformation du modèle k-ε vers la formulation k-ω et une addition subséquente des équations correspondantes.

Le modèle de Wilcox sera multiplié par la fonction de mélange F_1et le modèle k-ε transformé par une fonction $1-F_1$, F_1 est égale à 1 près de la surface et évolue vers 0 à l'intérieur des frontières. [14]

2.5.2.1 Le modèle de Wilcox :

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j k\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k1}}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + \mathrm{p}_k - \beta'\rho k\omega \quad (2\text{-}31)$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j \omega\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 1}}\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right]+\alpha_1\frac{\omega}{k}\mathrm{p}_k-\beta_1\rho\omega^2 \quad (2\text{-}32)$$

2.5.2.2 Le modèle k-ε transformé :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j k\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_{k2}}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+\mathrm{p}_k-\beta'\rho k\omega \quad (2\text{-}33)$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j \omega\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 2}}\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right]+2\rho\frac{1}{\sigma_{\omega 2}\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j}+\alpha_2\frac{\omega}{k}\mathrm{p}_k-$$

$$\beta_2\rho\omega^2 \quad (2\text{-}34)$$

Maintenant les équations du modèle de Wilcox sont multipliées par la fonction F_1 , les équations du modèle k-ε transformé par $1-F_1$et les équations relatives à k et ω sont additionnées pour donner le modèle BSL :

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j \omega\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_{k3}}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+\mathrm{p}_k-\beta'\rho k\omega+\mathrm{p}_{kb} \quad (2\text{-}35)$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cup_j \omega\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 3}}\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right]+(1-F_1)2\rho\frac{1}{\sigma_{\omega 2}\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j}+\alpha_3\frac{\omega}{k}\mathrm{p}_k-$$

$$\beta_3\rho\omega^2+\mathrm{p}_{\omega b} \quad (2\text{-}36)$$

Le coefficient α dans le terme de production de flottabilité $\mathrm{p}_{\omega b}$ dans (2-28) et (2-30) est également remplacé par le nouveau coefficient α_3 .

Les coefficients du nouveau modèle sont donnés par :

$$\Phi_3=F_1\Phi_1+(1-F_1)\Phi_2 \quad (2\text{-}37)$$

Pour des raisons de simplicité, on a les coefficients suivants :

$$\beta'=0.09 \quad (2\text{-}38)$$

$$\alpha_1={}^{5}/_{9} \quad (2\text{-}39)$$

$$\beta_1=0.075 \quad (2\text{-}40)$$

$$\sigma_{k1}=2 \quad (2\text{-}41)$$

$$\sigma_{\omega 1}=2 \quad (2\text{-}42)$$

$$\alpha_2=0.44 \quad (2\text{-}43)$$

$$\beta_2 = 0.0828 \quad (2\text{-}44)$$

$$\sigma_{k2} = 1 \quad (2\text{-}45)$$

$$\sigma_{\omega 2} = {}^{1}/_{0.856} \quad (2\text{-}46)$$

2.6 Le modèle turbulent k-ω basé sur le transport des contraintes de cisaillement (Shear Stress Transport) : k-ωSST

Le modèle k-ωSST représente le transport des contraintes de cisaillement turbulent et donne des prédictions très précises sur le commencement et l'évolution des séparations de flux sous les contraintes de gradients de pression.

Le modèle k-ω BSL (Baseline) combine les avantages du modèle k-ω Wilcox et le modèle k-ε, mais n'arrive toujours pas à prédire correctement le commencement et l'évolution des séparations de flux pour des surfaces lisses. Les raisons de cette déficience sont données par Menter. La raison principale est que les deux modèles ne représentent pas le transport des contraintes de cisaillement turbulent. Cela résulte en une sur prédiction de la viscosité tourbillonnaire. Un comportement du transport approprié peut être obtenu en limitant la formulation des viscosités tourbillonnaire :

$$\nu_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, SF_2)} \quad (2\text{-}47)$$

$$\nu_t = {}^{\mu_1}/_{\rho} \quad (2\text{-}48)$$

F_2 est une fonction de mélange similaire à F_1 . [14]

PRESENTATION

DU CODE CFX

3.1 Introduction :

Le code CFX est un code de CFD commercial tridimensionnel, sans option bidimensionnelle, ayant des champs d'applications assez vastes.

L'un des avantages de CFX est qu'il résout les équations en trois dimensions spatiales, permettant ainsi de simuler des géométries qui ne sont pas nécessairement axisymétriques ou simplifiables en deux dimensions. Ceci ouvre la porte à la résolution de problèmes plus près de la réalité des géométries industrielles.

Par contre, l'un de ses désavantages est qu'il fonctionne strictement en trois dimensions, nécessitant des maillages avec beaucoup plus d'éléments qu'un calcul en deux dimensions spatiales, pour obtenir une précision similaire. Ceci a pour effet d'allonger beaucoup les temps de calcul, ou de réduire la précision des résultats, selon le cas. [15]

Mettre en place une simulation à l'aide d'ANSYS CFX se fait en trois étapes :

- CFX-Pre : pour construire une géométrie et générer son maillage, ainsi que l'incorporation des conditions aux limites…
- CFX-Solver : qui résout les équations et affiche les différents résidus à chaque itérations.
- CFX-Post : où l'on exploite les résultats.

Nous allons présenter la procédure suivie pour réaliser une simulation avec CFX. L'exemple d'application proposé dans ce chapitre est conforme au problème traité dans ce mémoire.

3.2 CFX-Pre :

3.2.1 La géométrie :

1. On commence par la construction de la géométrie que l'on souhaite étudier à l'aide de l'icône 

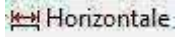
dans le schéma du projet. Puis sélectionner l'unité de longueur désirée, dans ce projet en choisit l'unité mètre par exemple.

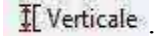
2. Ensuite on définit à l'aide de l'icône 

, le plan d'esquisse. Pour afficher le plan et le voir face, sélectionner l'icône  et  respectivement.

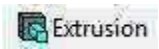
3. Pour dessiner l'esquisse, on choisit dans la boite à outil d'esquisse l'icône 

.

4. Pour faire les cotations, on choisit dans la boite à outil d'esquisse l'icône 

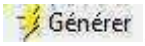
ou 

.

5. 

L'icône d'extrusion permet de faire trois opérations très importantes :

- Ajouter un corps pour définir le volume de contrôle et on choisit la profondeur.
- Enlever de la matière pour définir les obstacles et on choisit la profondeur.
- Empreindre les faces pour faire des faces et on choisit le type d'extension dans cette cas en choisit **à travers tout**.

6. À la fin de chaque opération, il faut click sur l'icône 

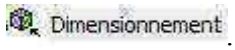
.

3.2.2Le maillage :

1. Pour générer le maillage, faire double click sur l'icône 

dans le schéma de projet.

Click sur l'icône 

et dans le contrôle du maillage  on choisit 

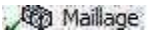
.

2. À l'aide de l'icône , et Sur le clavier serrez et tenez CTRL, on sélectionne les lignes de même longueur. Dans le champ d'application en cliquant appliquer et dans la définition on choisit le type : le nombre de divisions et on donne le nombre.

3. Dans le comportement, on sélectionne interpolé ainsi le type d'écart et on donne le nombre de facteur d'écart pour raffiner le maillage dans les zones proches de l'obstacle.

4. Ensuite on générer le maillage à l'aide de l'icône 

.

5. En cliquant sur l'icône 

pour voir le maillage.

6. A la fin de cette étape on click l'icône 

.

3.2.3La configuration :

1. On commence avec Create a Domain  on crée un domaine que l'on nomme Fluide. Apparaissent alors les détails de ce domaine en trois volets.

Le premier onglet General Options, permet de définir la localisation du domaine : il faut sélectionner l'ensemble du maillage, le type de domaine : sélectionner Fluid Domain, le type de fluide : choisir Air at 25°C.

Le second onglet Fluid Models permet de définir la présence ou non de transfert de chaleur (Heat Transfer) : ici nous choisissons l'option Isothermal avec un fluide à 25°C, et le modèle de turbulence que l'on doit saisir dans Turbulence Option.

Le dernier onglet Initialisation propose des options que nous n'utiliserons pas. On les utilise généralement en cas d'une simulation instationnaire.

On valide ces différents choix en cliquant sur Apply puis sur Ok.

2. On insert les différentes conditions aux limites avec l'icône Create a Boundary Condition . 3. La première que l'on nomme Inlet permet de définir les propriétés aux surfaces d'entrée. Apparaît alors les détails sur Inlet en différents onglets suivant le type de frontière. Ici on sélectionne dans Basic Settings pour Boundary Type : Inlet.

Ensuite il faut choisir la localisation dans Location : il suffit de sélectionner l'ensemble de face Inlet, sinon il faut sélectionner les faces servant d'inlet les unes après les autres.

Dans le volet Boundary Details, on définit le régime du fluide dans Flow Regime, ici nous sommes en Subsonic. On définit aussi la vitesse d'entrée dans Mass and Momentum avec l'option Normal speed. On entre alors la valeur de la vitesse d'entrée U (selon X).

Les onglets Sources et Plot Option sont laissé intactes.

4. La seconde condition limite que l'on nomme Outlet correspondra à la surface de sortie. On sélectionne donc dans Basic Settings, Boundary Type : Outlet, de même que précédemment on sélectionne la surface qui servira de sortie qui se nomme déjà Outlet.

Dans l'onglet Boundary Details, on définit la pression de sortie dans Mass and Momentum avec l'option Average Static Pressure, que l'on n'impose nulle (en pression relative).

Les autres volets sont laissé intacts.

5. La troisième condition limite appelé Profil correspond au mur que représente le profil. Dans Basic Settings, Boundary Type on choisit Wall, et dans Location on choisit Profil.

Dans l'onglet Boundary Details, on définit dans Wall Influence On Flow l'influence du mur sur le flux avec l'option No Slip, que l'on n'impose nulle (en pression relative).

Les autres onglets sont laissé intacts.

6. Les trois dernières conditions limites sont les conditions de symétrie appelées Symetrie 1,

Symetrie 2et Symetrie 3. Dans Basic Settings, Boundary Type on choisit Symmetry, et dans Location on choisit Symetrie 1, Symetrie 2, puis pour la troisième Symetrie 3.

7. On définit aussi les contrôles de résolution dans Solver Control. Dans l'onglet Basic Settings, on choisit les contrôles de la convergence (Convergence Control) en choisissant dans le cas d'une simulation transitoire un nombre minimal et un nombre maximal d'itération intermédiaire (Minimum et Maximum Number of Coefficient Loops) pour chaque étape de temps.

Les autres onglets sont laissés intacts.

8. Enfin, il est temps d'enregistrer la simulation au format *.cfx . [13]

3.3 CFX-Solver :

Une fois la simulation enregistrée au format *.cfx le solveur se met en route.

1. Dans definition File apparaît la simulation précédemment enregistré.

2. On peut définir si on le veut un fichier de valeurs initiales dans Initial Values File. Attention le maillage de ce dernier doit être identique à celui du fichier de définition car par défaut le solveur retiendra le maillage du fichier initial.

3. Il faut aussi définir l'espace de travail, afin que le solveur enregistre les données dans un répertoire connu. Pour cela on le définit dans Working Folder.

4. Enfin on lance le calcul (Start Run), apparaissent alors différents onglets dont Mass and Momentum permettant de voir l'évolution des résidus : Turbulence permettant de voir l'évolution des résidus de turbulence, Wall Scale permettant de voir l'évolution du Wall Scale, et User Points qui nous permet de voir l'évolution des Monitor Points choisis.

5. A la fin du calcul le solveur propose de lancer CFX-Post. [13]

3.4 CFX-Post :

1. On commence avec location  qui permet de dessiner des lignes et des plans par leurs cordonnés.

2.  Puis on insert un graphique à l'aide de Chart.

Dans l'onglet Chart, on choisit le Type XY, dans l'onglet Chart Line 1, on choisit dans Location la poly ligne que l'on a crée. Dans Y Axis on sélectionne la variable de vitesse, la pression, la dissipation de turbulence ou énergie cinétique de turbulence, et dans Y Axis on sélectionne la variable X relatif. En cliquant sur Apply, de même que précédemment. Généralement, on exporte le graphique au format *.csv, afin de pouvoir le retraiter.

3.  On peut afficher les lignes de courant de vitesse à l'aide de l'icône streamline. Les choix les plus importants se font dans l'onglet Geometry, Dans type on choisit surface streamline, Dans start from on choisit plan dont on souhaite voir. on modifie le nombre des lignes dans # of point (en règle générale nous choisissons 5000).

4.  On peut afficher les vecteurs de vitesse à l'aide de l'icône vector. Les choix les plus importants se font dans l'onglet Geometry. Dans Locations, on choisit plan ou line dont on souhaite voir. [13]

CHAPITRE 4

CONFIGURATION

ET SENSIBILITE AU MAILLAGE

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on décrit la configuration géométrique et la sensibilité au maillage qui ont été élaborées dans l'ANSYS CFX.

Dans notre cas, on a utilisé le modèle k-ε standard.

4.2 La configuration géométrique:

La configuration géométrique traitée est présentée ci-dessous avec H=9m. Il s'agit d'une rue à quatre blocs en deux rangées parallèles deux à deux. Les deux rangés présente un certain décalage de position.

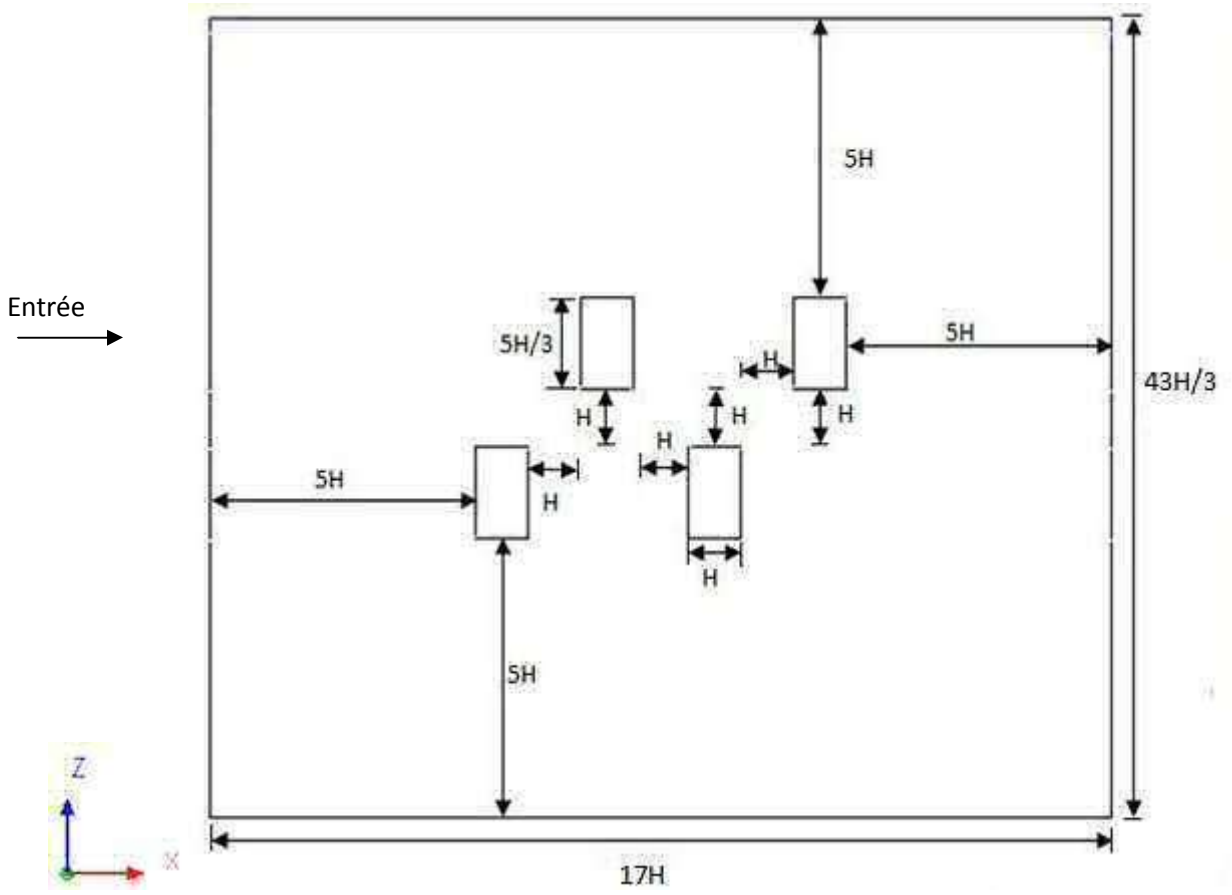


Figure 4.1: vue dessus de la géométrie

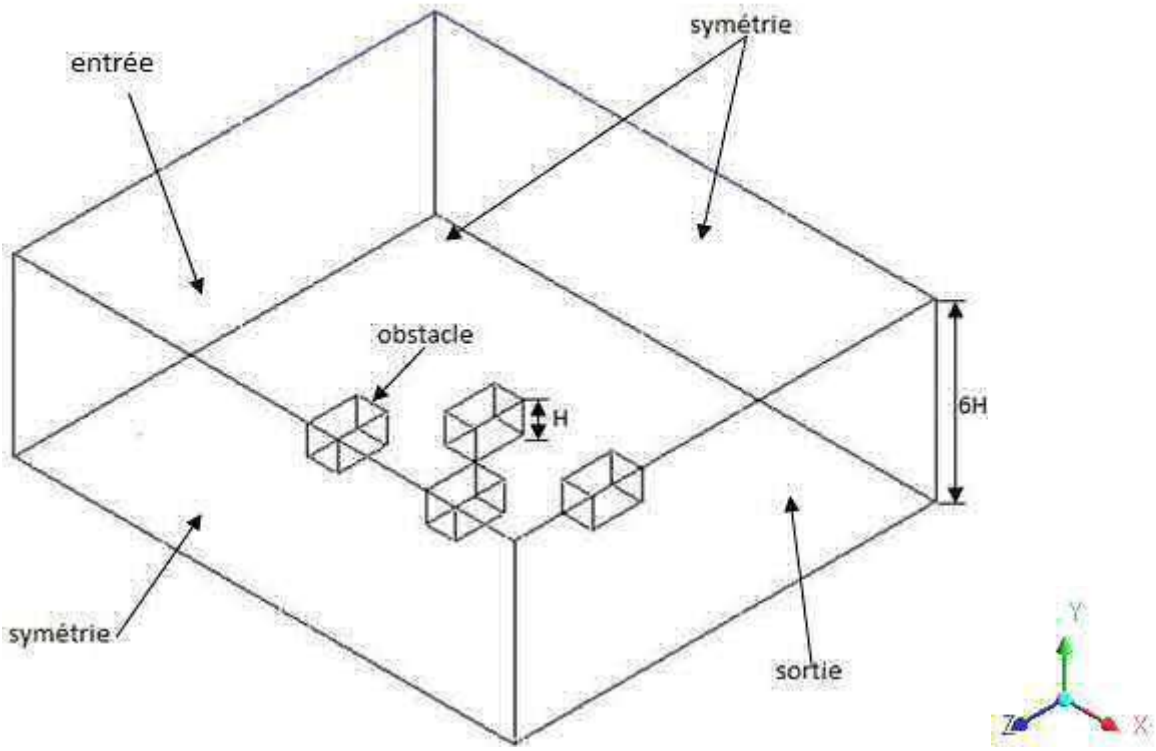


Figure 4.2: la géométrie en 3D

4.3 La sensibilité au maillage :

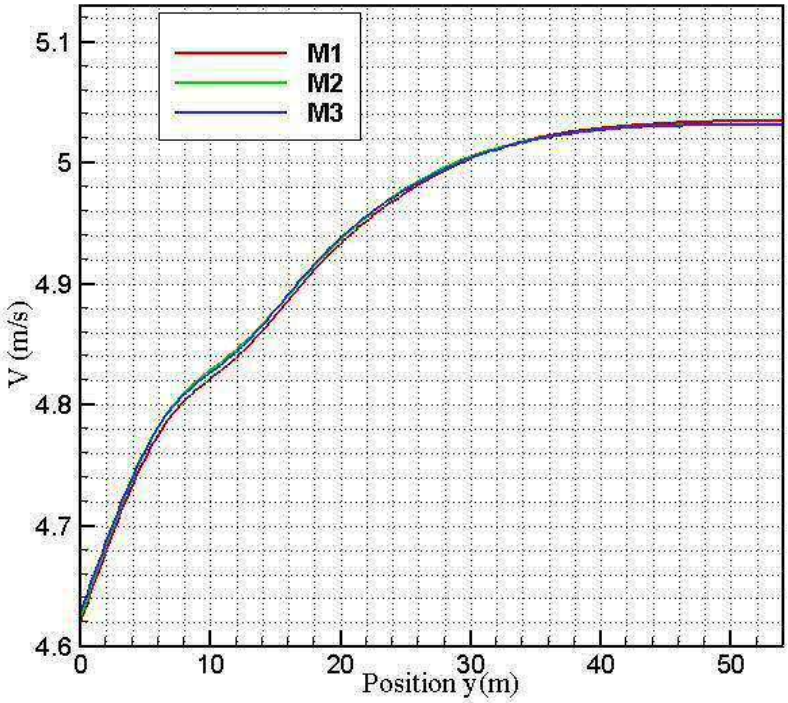
Avoir une meilleure précision des résultats par le code CFX nécessite un maillage suffisamment raffiné de sorte que la solution soit indépendante du maillage.

Un test de l'effet du maillage sur la solution a été effectué en utilisant différents nombre des nœuds pour un seul bloc.

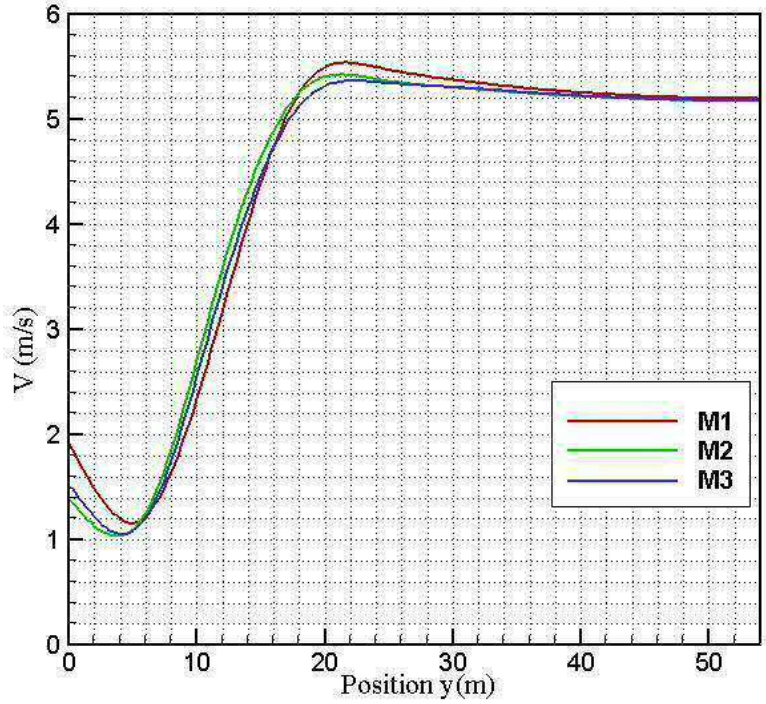
Il a été opté pour un maillage tétraédrique non uniforme. Les nombres des nœuds considérés et le temps de calcul de chaque maillage dans le tableau ci-dessous.

	Nombre des nœuds	Temps de calcul
Maillage M1	93476	4,15 heures
Maillage M2	113898	6,33 heures
Maillage M3	129285	8 heures

Les figures (4.3 et4.4) ci-dessous, montrent les profils de la vitesse en des positions x différentes et z aux milieux.

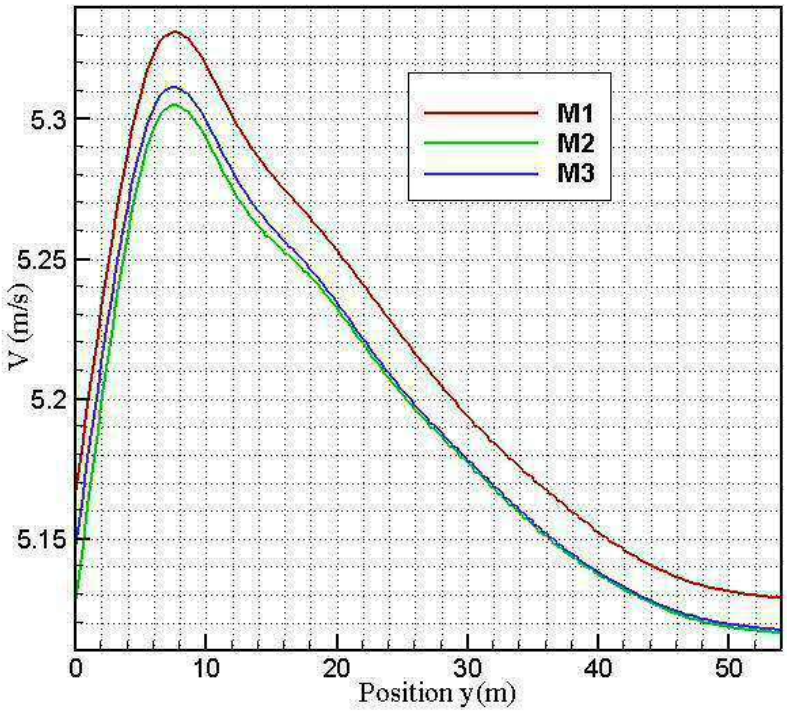


Figures 4.3: Influence du maillage sur le profil de vitesse (en x = 22,5m)

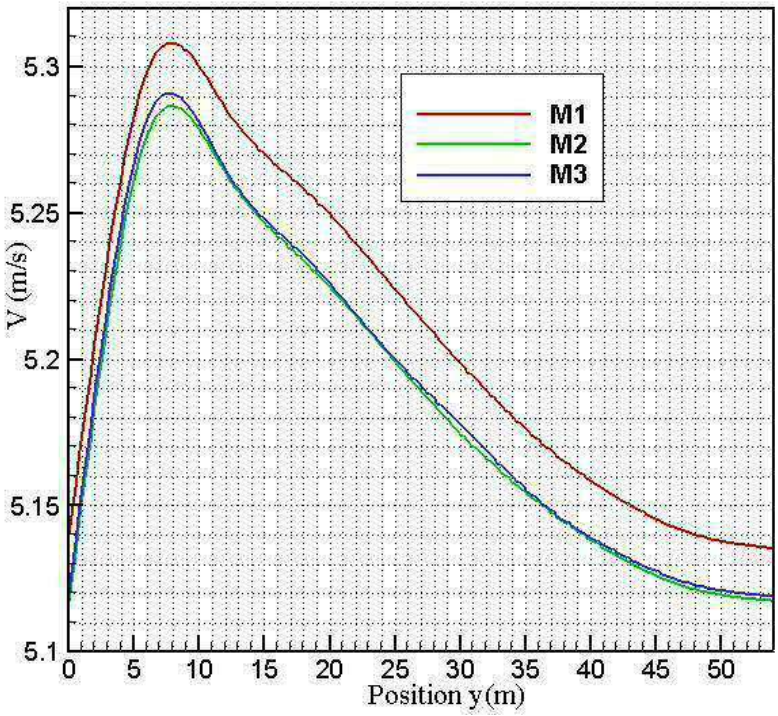


Figures 4.4: Influence du maillage sur le profil de vitesse (en x = 76,5m)

Les figures (4.5 et4.6) ci-dessous, montrent les profils de la vitesse en des positions z différentes et x aux milieux.



Figures 4.5: Influence du maillage sur le profil de vitesse (en z = 22,5m)



Figures 4.6: Influence du maillage sur le profil de vitesse (en z = 82,5m)

On remarque que les maillages M2 et M3 permettent d'avoir des solutions qui se convergent et que la solution devient indépendante du maillage. On adoptera le maillage M3 pour toute la simulation présentée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 5

RESULTATS

ET DISCUSSION

5 .1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulations numériques d'un écoulement de l'air autour de quatre blocs disposés selon la configuration décrite au chapitre 4.

La simulation est faite en utilisant le code CFX sous environnement Ansys 14.0. Le maillage adopté pour cette étude est le maillage M3 décrit au chapitre précédent.

L'étude est faite en utilisant le modèle de turbulence k-ε avec les coefficients donnés au chapitre 2. Par ailleurs, on a utilisé un profil uniforme pour la vitesse d'entrée.

Une étude paramétrique est menée. On a voulu étudier l'effet de trois paramètres, en occurrence : la vitesse du vent, l'altitude et la distance entre les blocs.

5.2. Effet de la vitesse du vent :

5.2.1 Introduction :

Pour connaître l'effet de la vitesse du vent, on essayera plusieurs valeurs de la vitesse d'entrée sur la même géométrie. La figure (5.1) représente les lignes du courant du champ de vitesse pour u=2m/s, 5m/s, 10m/s et 20m/s respectivement sur le niveau y=H /2.

Pour savoir la variation de la vitesse et de l'énergie cinétique turbulente, nous avons tracé des courbes comparatives sur différentes lignes (figure 5.2 et 5.3) dans les zones après les obstacles de distance D=H et dans la zone intermédiaire sur le niveau y=H /2.

Les coordonnées des stations de mesure (lignes) sont indiquées dans le tableau suivant :

	x	y	Z
Ligne 1	63m	4,5m	0m
	63m	4,5m	129m
Ligne 2	81m	4,5m	0m
	81m	4,5m	129m
Ligne 3	99m	4,5m	0m
	99m	4,5m	129m
Ligne 4	117m	4,5m	0m
	117m	4,5m	129m
Ligne 5	0m	4,5m	64,5m
	153m	4,5m	64,5m

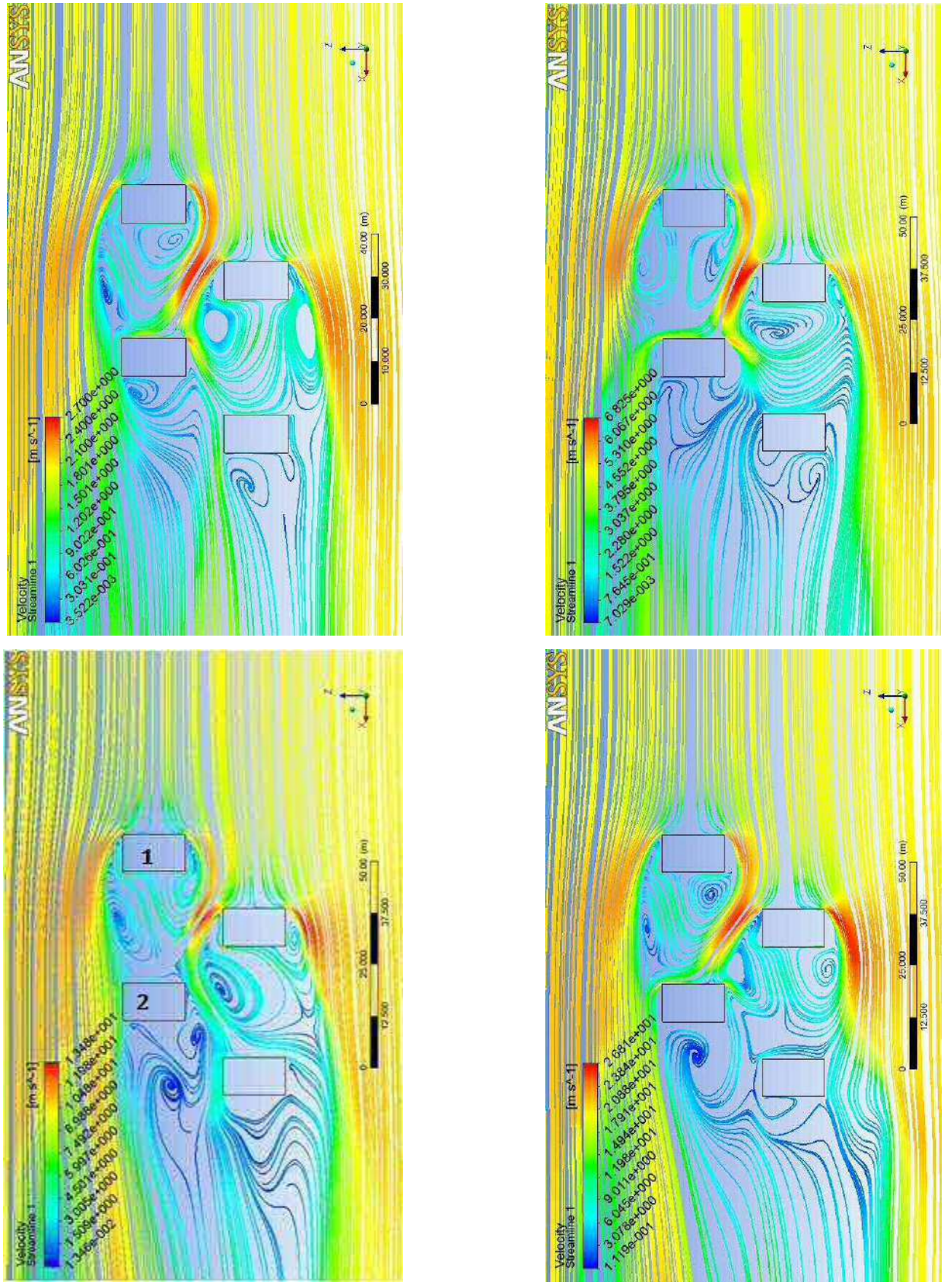
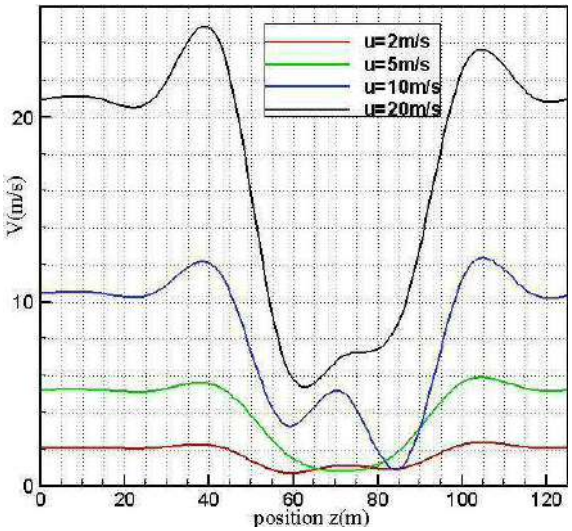
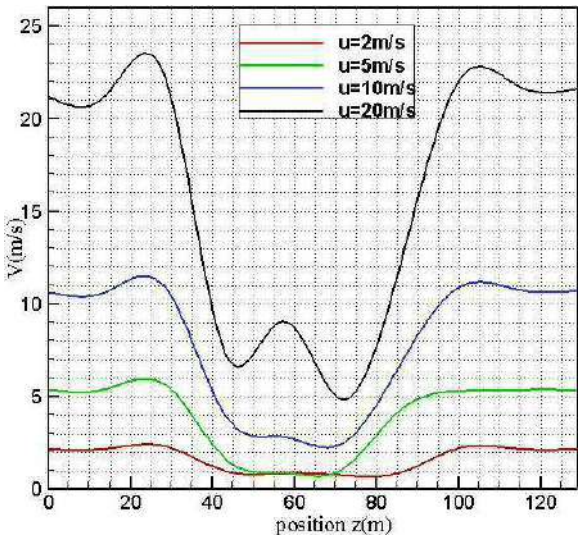


Figure 5.1 : les lignes du courant pour différents vitesses d'entrée (u=2m/s, 5m/s, 10m/s et 20m/s respectivement sur le niveau y=H /2).

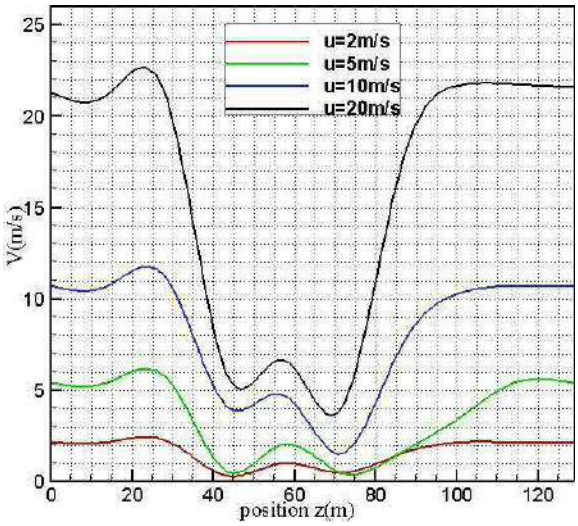
Ligne 1



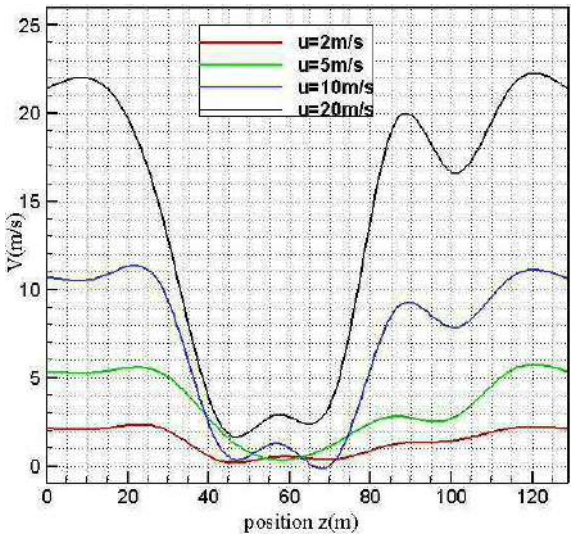
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

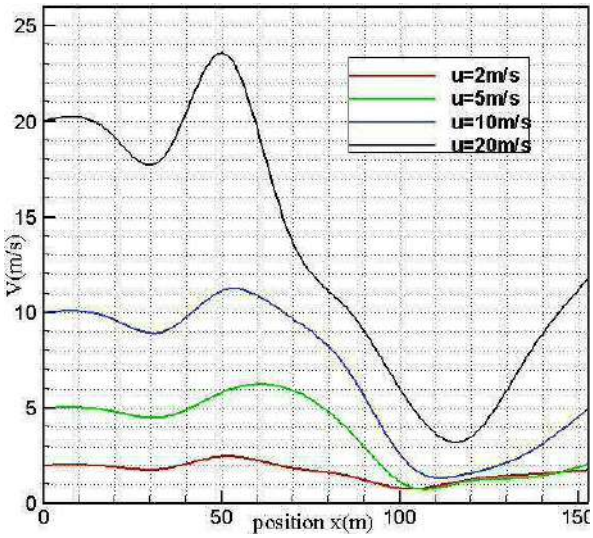
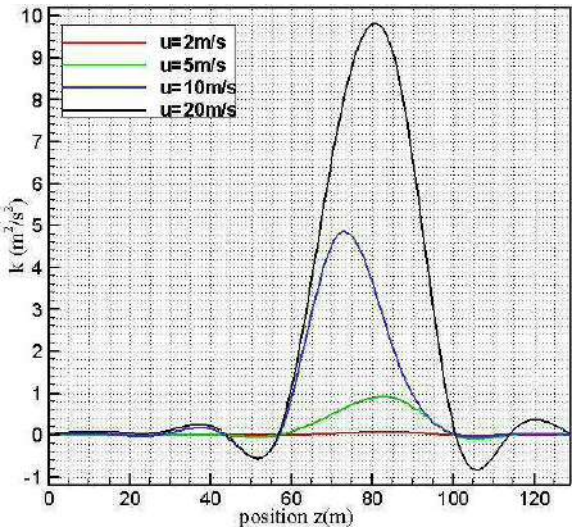
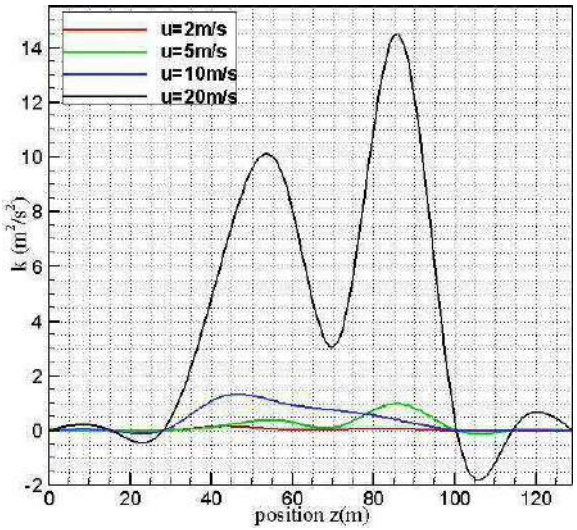


Figure 5.2 : profils de vitesse pour différents vitesse d'entrée du vent.

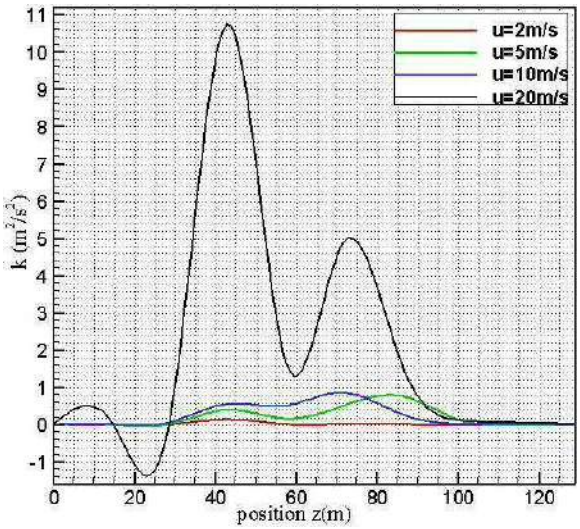
Ligne 1



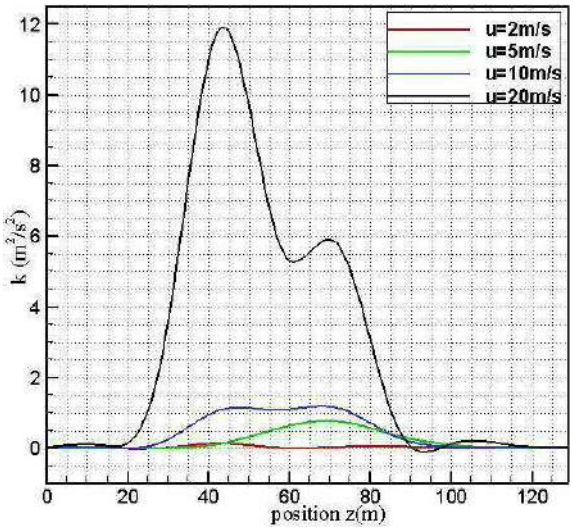
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

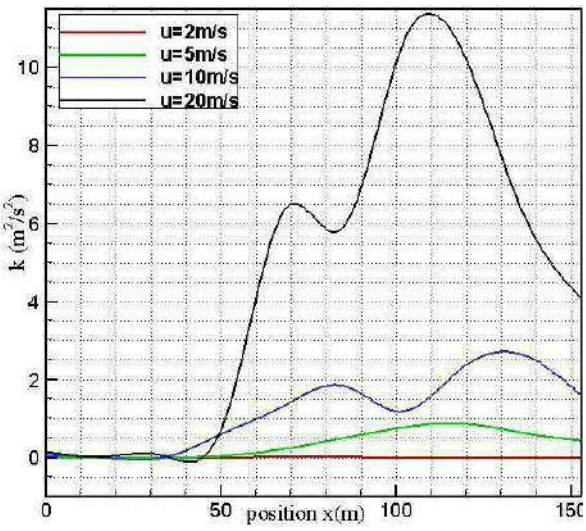


Figure 5.3 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour différents vitesse.

5.2.2 L'analyse :

La figure (5.1) montre que les centres et les tailles les zones de recirculation varient avec la vitesse d'entrée. Cette variation se manifeste dans les courbes de la figure (5.2 et 5.3). L'analyse de ces courbes montre que dans la zone (z=0 à 40) les vitesses et l'énergie cinétique turbulente ont des mêmes profiles mais la différence est claire dans la zone (z=40 à 90) qui représente la zone après l'obstacle et cela confirme ce que nous avons atteint dans la figure (5.1) où il y'a une forte zone de recirculation. Après cette zone, les vitesses et l'énergie cinétique turbulente prennent le même profile pour revenir à la valeur initiale. La cinquième courbe qui représente la zone intermédiaire dans la zone (x=0 à 50), les vitesses et l'énergie cinétique turbulente ont les mêmes profiles mais après cette zone la différence est claire.

On note aussi que les champs de vitesse ne présentent aucune symétrie comme sera le cas si les blocs étaient alignés sans décalage.

En outre, on a remarqué que plus la vitesse d'entrée n'est grande, plus la zone de recirculation sera grande et se localise derrière les blocs. Les premiers blocs des deux rangées (droite et gauche) sont les plus influencés. Les tourbillons latéraux qui apparaissaient pour les petites valeurs de la vitesse disparaissent si la vitesse augmente.

La région intermédiaire des deux rangées est caractérisée par un passage d'un courant d'air à grande intensité du gradient de vitesse. Cet effet est limité dans les régions lointaines après les obstacles et les côtés.

On peut conclure, d'après ces résultats préliminaires, que les zones les plus probablement pouvant être un lieu de concentration des polluants sont la région derrière les deux premiers blocs ainsi que la région entre les deux rangées de blocs.

Enfin, on récapitule dans les tableaux suivants les caractéristiques des principales zones de turbulence observées dans le plan perpendiculaire pour les deux blocs 1et2 constituants la rangée de blocs considérée, Pour différents nombre de Reynolds

$$R_H = \frac{V\,H}{v}$$

Où v viscosité cinématique de l'air.

V la vitesse de vent.

H la hauteur de bloc.

Pour le bloc 1 :

	zone de séparation		zone de rattachement	
	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur
R_{eH1} =983069	7m	2.5m	27m	12.7m
R_{eH2} =2457673	7m	2.63m	27m	12.9m
R_{eH3} = 4915386	7m	2.76m	27m	13.2m
R_{eH4} = 9830693	7m	2.87m	27m	13.4m

Pour le bloc 2 :

	zone de rattachement	
	Longueur	Largeur
R_{eH1} =983069	22m	9m
R_{eH2} =2457673	28m	9m
R_{eH3} = 4915386	34m	9m
R_{eH4} = 9830693	38m	9m

5.3 Examen en altitude :

5.3.1 Introduction :

On veut maintenant mettre en évidence l'effet de l'altitude pour voir les effets de la vitesse en hauteur pour différents niveaux. La vitesse moyen de l'emplacement de MEDEA environ 4,20 m/s [18], cette étude est menée pour une vitesse d'entrée du vent u=5m/s.

Les résultats présentés dans la figure (5. 4) représentent les lignes de courant de la vitesse sur les niveaux y=H /2, H, 2H et 5H respectivement.

Pour savoir comment varient les valeurs de la vitesse et l'énergie cinétique turbulente, nous avons tracé des courbes comparatives sur différentes lignes (figure 5.5 et 5.6) dans les zones après l'obstacle de distance H et dans la zone intermédiaire. Les lignes ont les mêmes coordonnées précédentes.

5.3.2 L'analyse :

Les résultats de la figure (5.4) montrent que la présence de l'obstacle influe sur l'écoulement et principalement sur sa vitesse. Cependant cette influence diminue

progressivement si on s'éloigne en hauteur de l'obstacle. Les courbes de la vitesse et de l'énergie cinétique turbulente confirment ceci. (Figures 5.5 et 5.6).

Si on s'élève dans le niveau, la vitesse augmente et l'énergie cinétique turbulente se réduit. Mais à une certaine limite, la vitesse revient à la valeur initiale tandis que l'énergie cinétique turbulente s'annule ; ceci est versifié même dans les zones après les obstacles et la zone intermédiaire.

Pratiquement, il sera intéressant de déterminer le niveau seuil au-dessus de l'obstacle qui sépare les régions dans lesquelles l'écoulement est influencé par la présence de l'obstacle et les régions de non influence. Ceci se justifie par le fait que les gaz polluants s'élèvent.

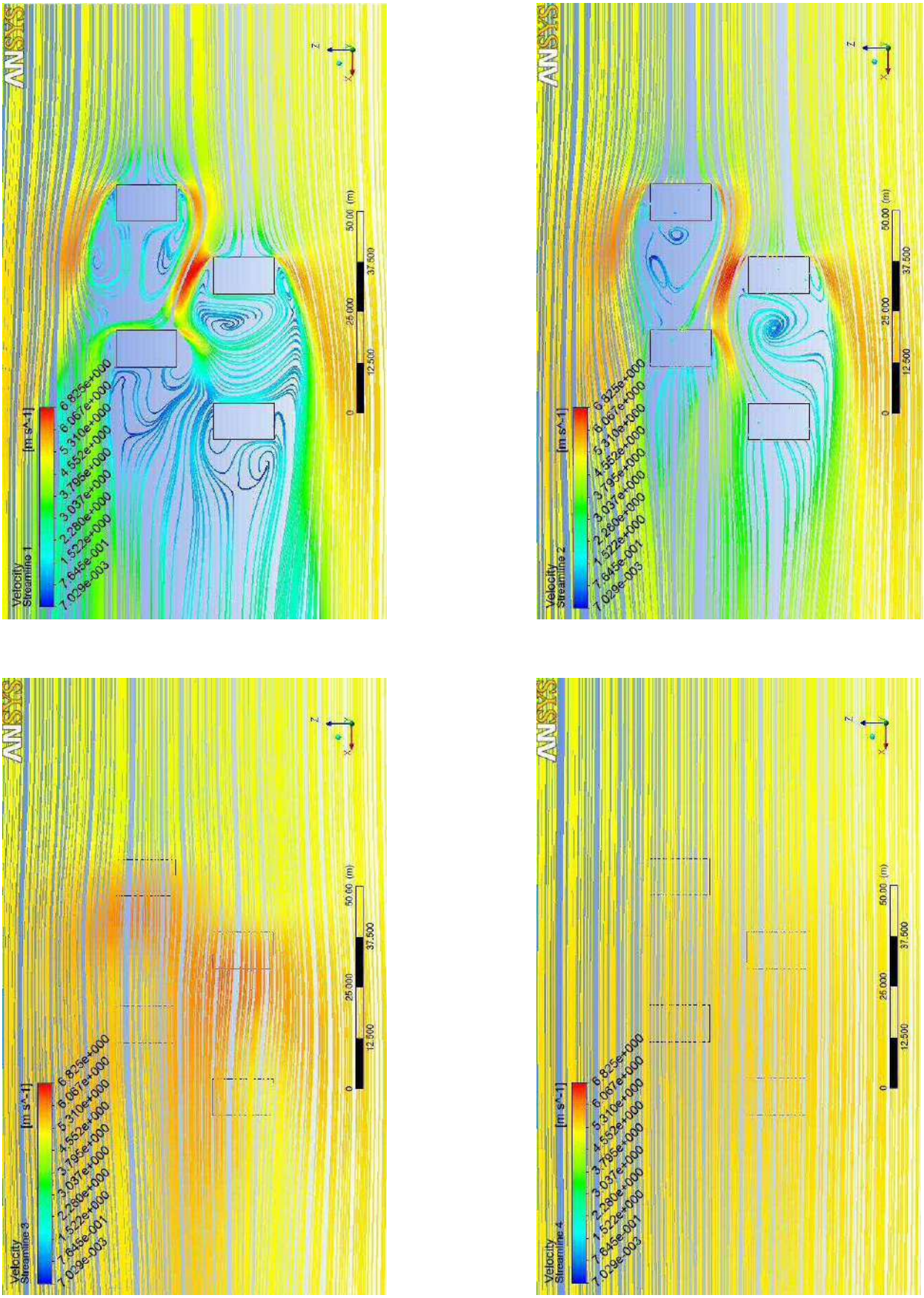
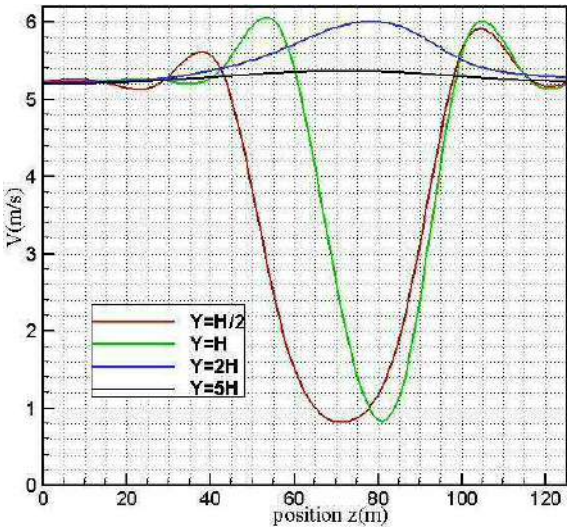
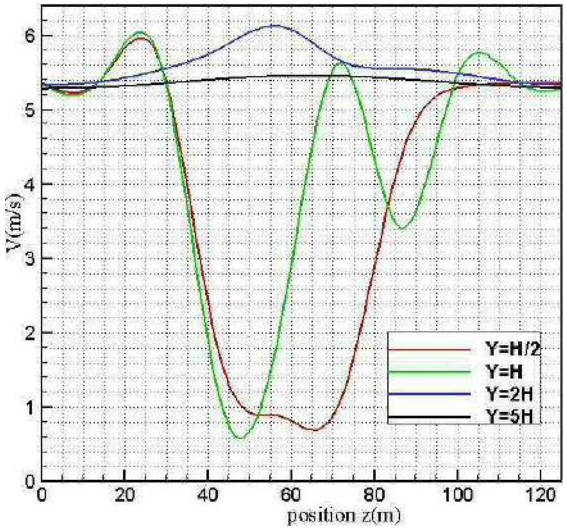


Figure 5.4 : les lignes de courant de vitesse pour u=5 m/s (pour les niveaux y=H /2, H, 2H et 5H respectivement)

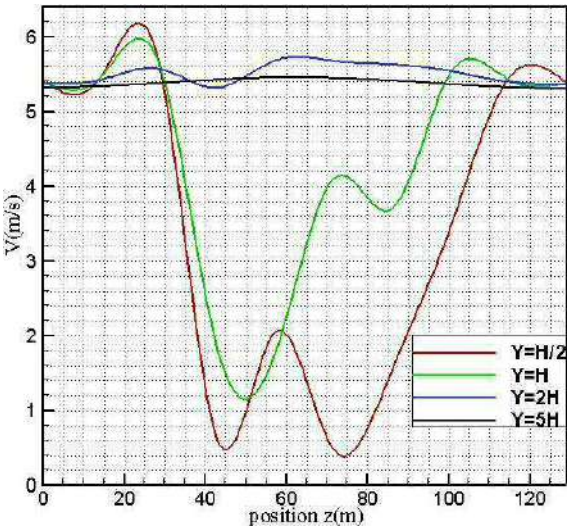
Ligne 1



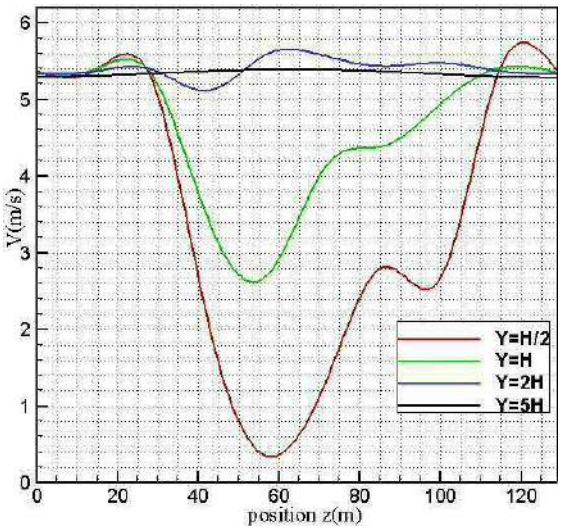
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

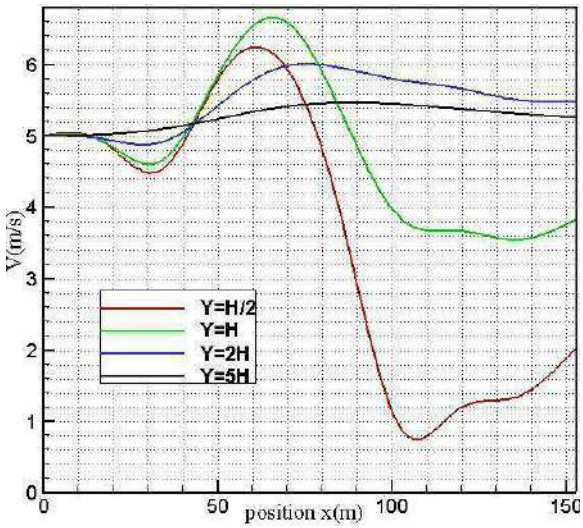
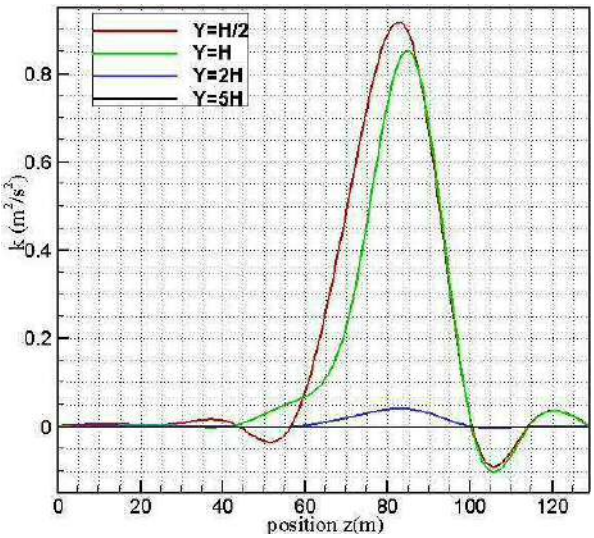
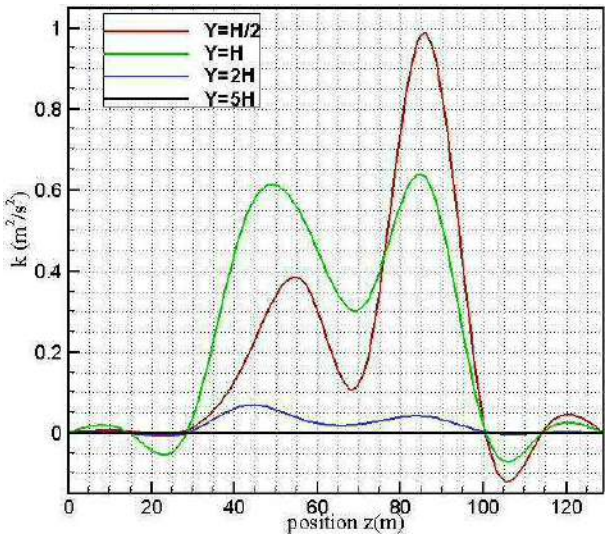


Figure 5.5 : profils de vitesse pour différents hauteur

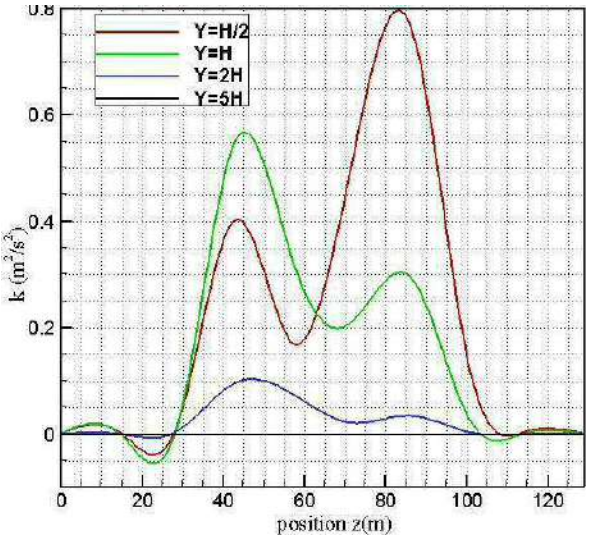
Ligne 1



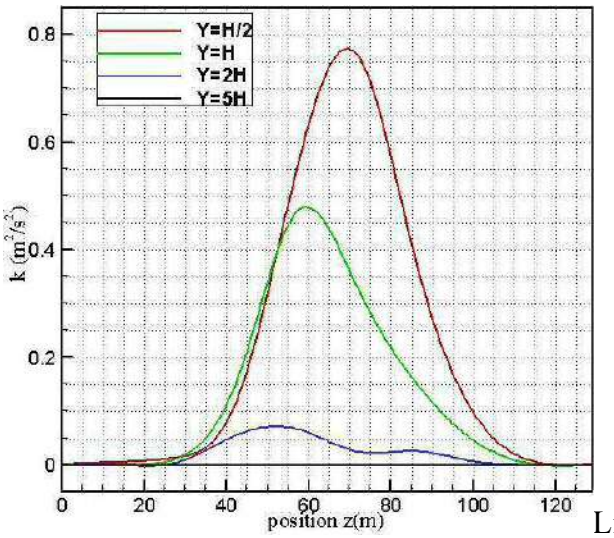
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

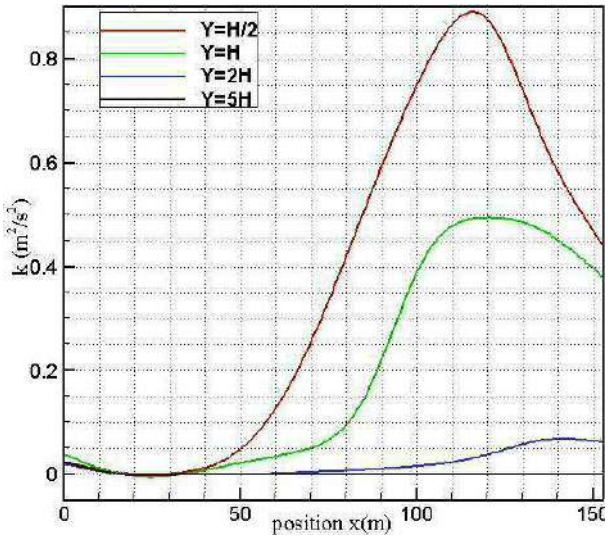


Figure 5.6 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour différents hauteur.

5.4 L'effet de la distance D entre blocs :

5.4.1 Introduction :

Dans cette section, on veut examiner l'effet de la distance entre blocs ; On a testé les cas suivants : D=H/2, H et 2H.

Afin de bien visualiser les résultats, plusieurs plans perpendiculaires à l'écoulement sont tracés (figures (5.8, 5.9 et5.10)) où seront représentées les lignes de courant de vitesse.

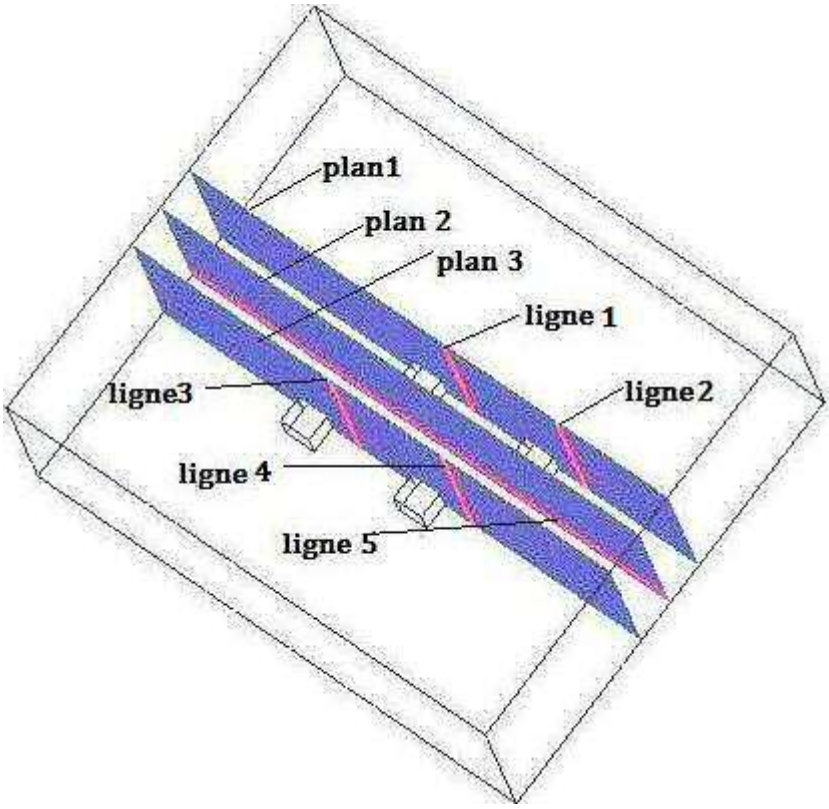


Figure 5.7 : les plans en 3D

5.4.2 L'analyse :

La figure (5. 8) représente les lignes de courant de vitesse pour D=H/2, H et 2Hrespectivement dans le plan 1.

On remarque trois zones de turbulence. La première au niveau du toit du premier obstacle de la rangée. Cette zone représentera la zone de séparation. Elle est caractérisée par un vortex à intensité élevée. Si nous augmentons la distance entre blocs, cette zone de recirculation s'étend vers la zone qui entre les deux obstacles.

La deuxième zone de recirculation apparait entre les obstacles. Si nous augmentons la distance entre blocs, cette zone de recirculation combinée avec la première donnent la naissance d'une zone de turbulence du côté du boc suivant. Elle se développe avec l'augmentation de la distance D pour donner lieu à un grand tourbillon du côté du premier obstacle.

La troisième zone de turbulence aura lieu dans la région après l'obstacle. Si nous augmentons la distance D, la taille de cette zone de recirculation diminue.

Les courbes de vitesse et de l'énergie cinétique turbulente pour les lignes 1et 2 montrent que la différence est limitée dans la zone (y=0 à 30m). (Figures (5.11) et (5.12))

Après cette zone, la vitesse et l'énergie cinétique turbulente prennent la même valeur malgré la variation de la distance entre blocs. L'énergie cinétique turbulente aura la grande valeur pour D= H.

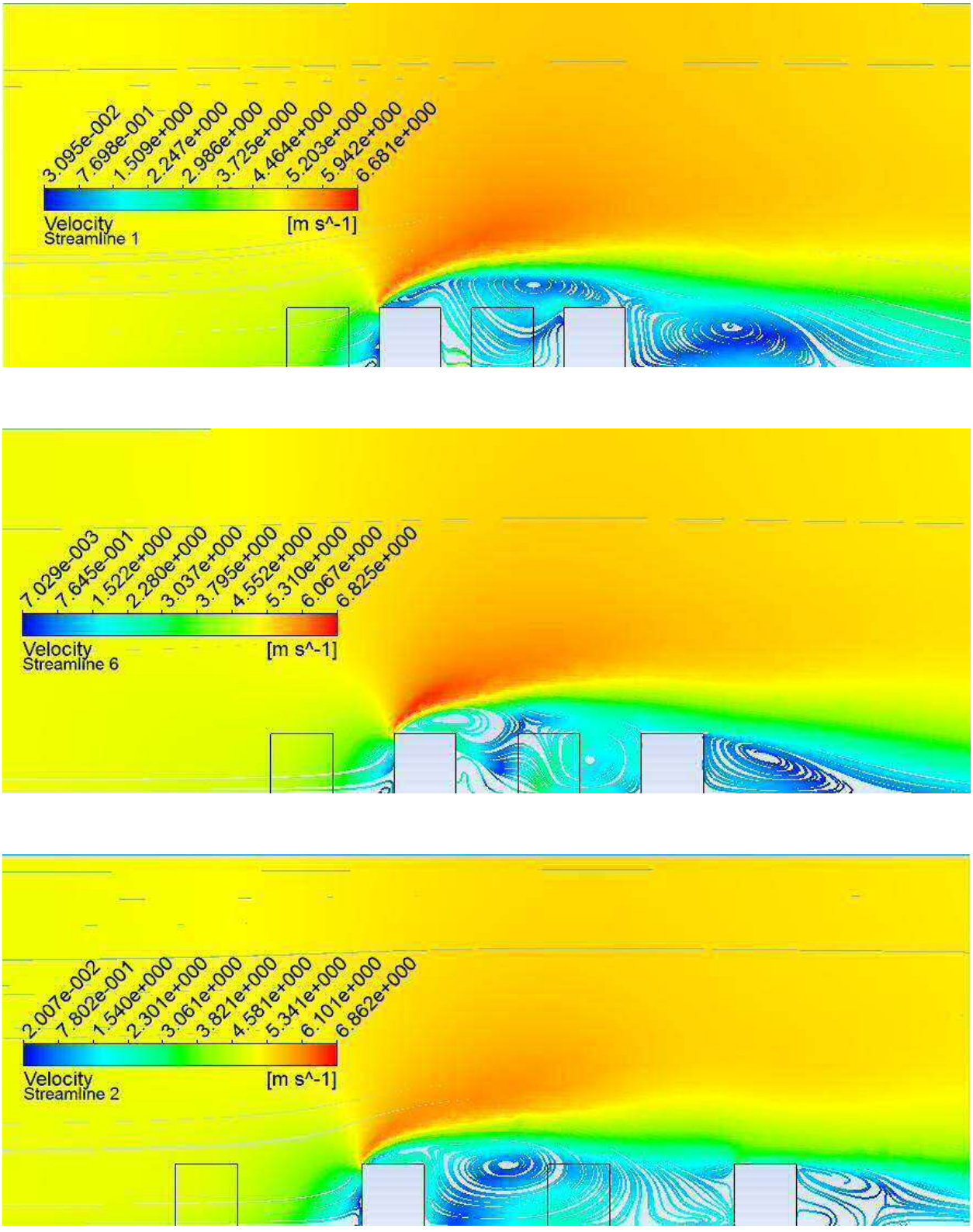


Figure 5.8: les lignes de courant de vitesse dans le plan 1

La figure (5. 9) représente es lignes de courant de vitesse pour D=H/2, H et 2H respectivement dans le plan 2 (plan intermédiaire entre les deux rangées de blocs).

On remarque une seul zone de recirculation. Si nous augmentons la distance entre blocs, la taille de cette zone de recirculation diminue.

Ceci indique que plus les blocs sont éloignés l'un de l'autre, moins sera la naissance de zones de tourbillons violents. Ainsi, il n'aura pas de régions privilégiées pour les concentrations de polluants.

En effet, les courbes de vitesse et de l'énergie cinétique turbulente pour la ligne 5 montrent que la différence est limitée dans cette zone intermédiaire. (Figures (5.11) et (5.12))

La variation de l'énergie cinétique turbulente est très importante pour D= H relativement à une configuration D=2H.

La figure (5. 10) représente les lignes de courant de vitesse pour D=H/2, H et 2H respectivement dans plan 3.

On remarque les mêmes phénomènes de plan 1 avec quelques différences à cause de position décalée des obstacles de cette rangée par rapport à l'autre rangée de blocs.

Les trois types de zones de recirculation apparaissent. Cependant, la zone de séparation présente aspect plus violent sur le boc suivant si on augmente la distance D. (Figure (5.10))

Les figures (5.11) et (5.12) confirment ces constatations (Lignes 3 et 4).

5.4.3 Conclusion :

D'après cette étude introductive, on peut dire que les modèles d'écoulement, et par conséquence celui de la dispersion des polluants, dans une zone urbaine dépendent de sa géométrie, de la distance entre les obstacles et leur disposition. On a traité ici le cas décalée.

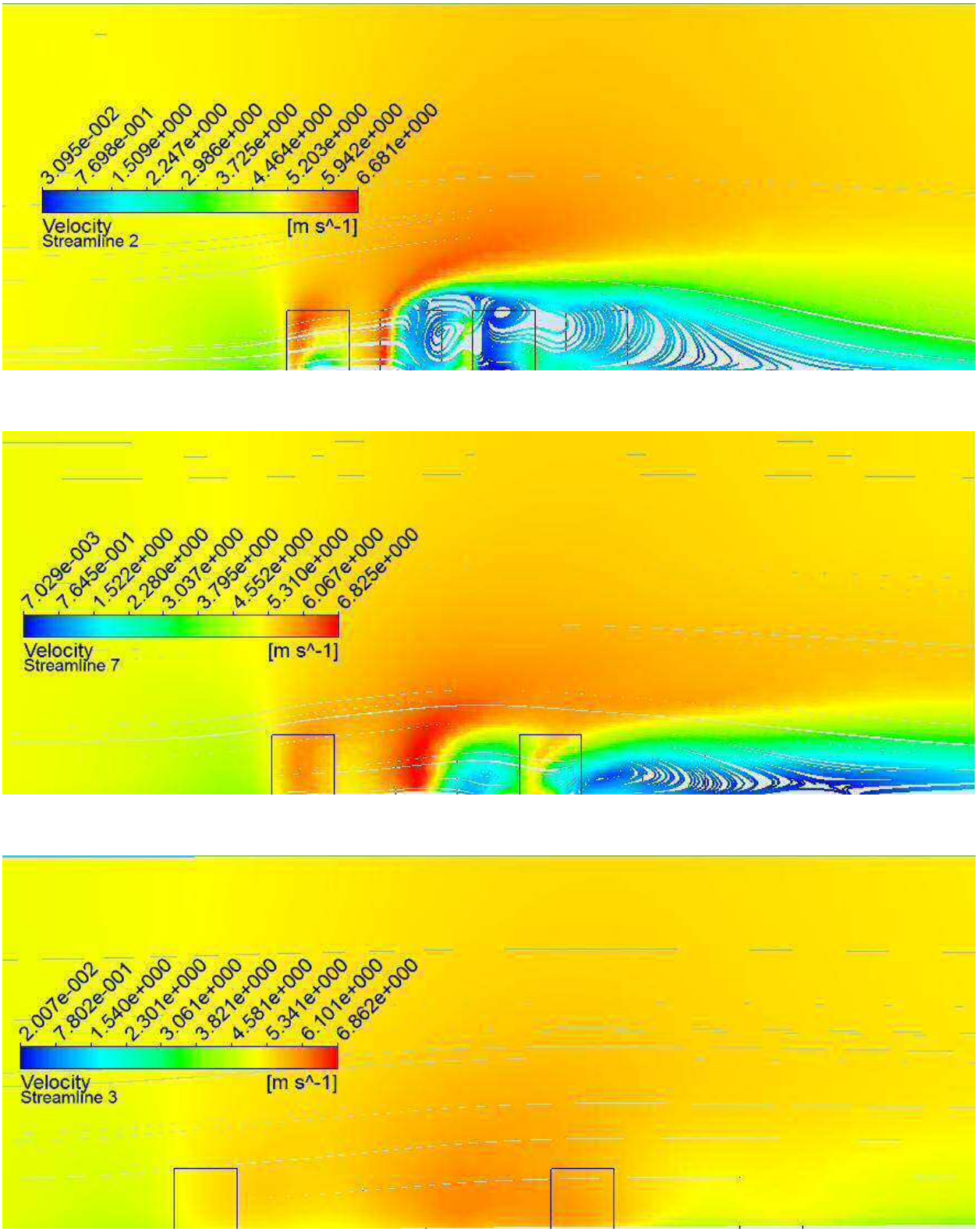


Figure 5.9 : les lignes de courant de vitesse dans le plan 2

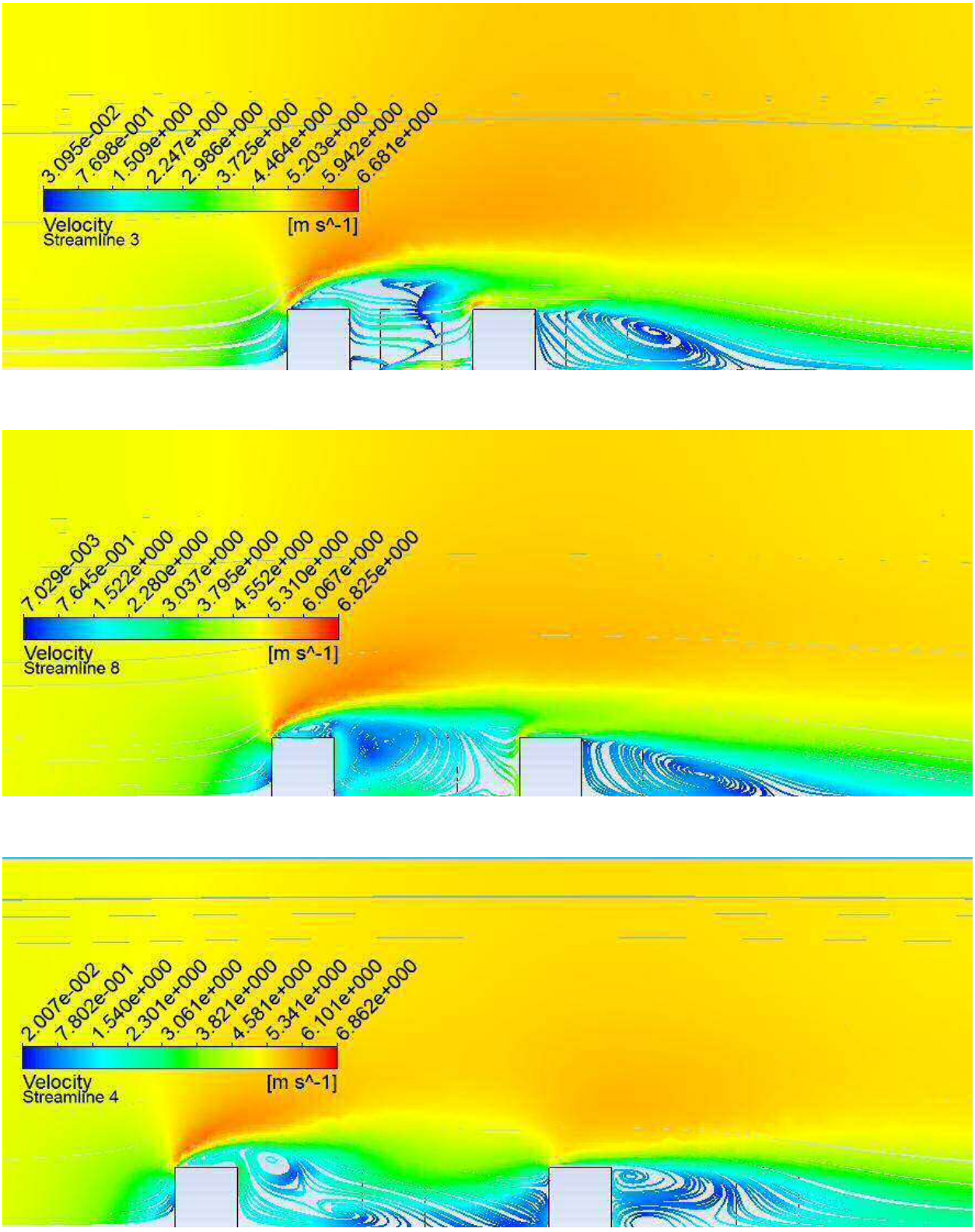
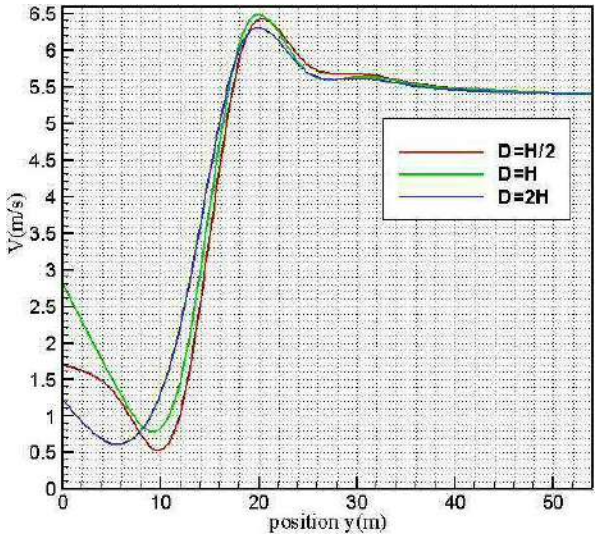
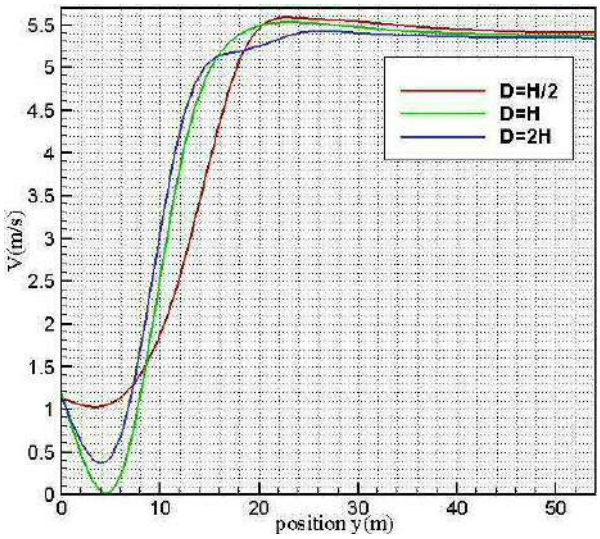


Figure 5.10 : les lignes de courant de vitesse dans le plan 3

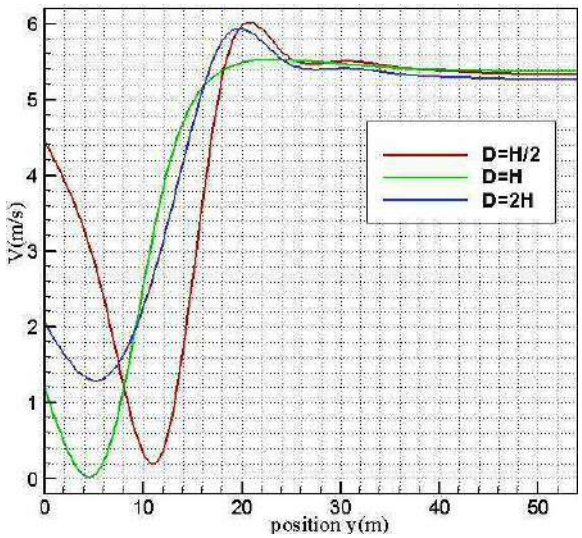
Ligne 1



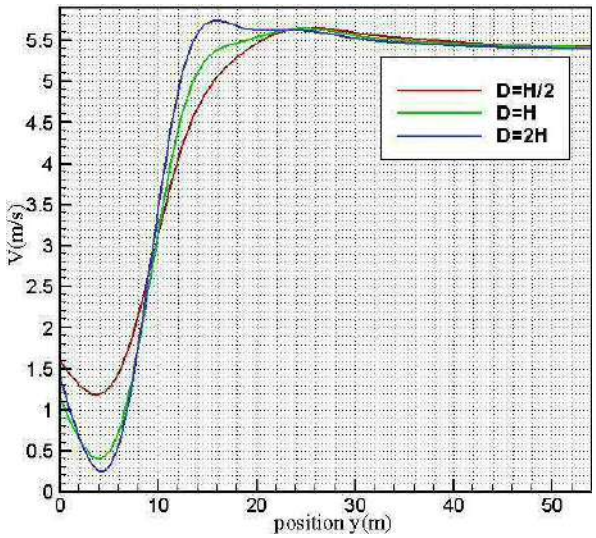
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

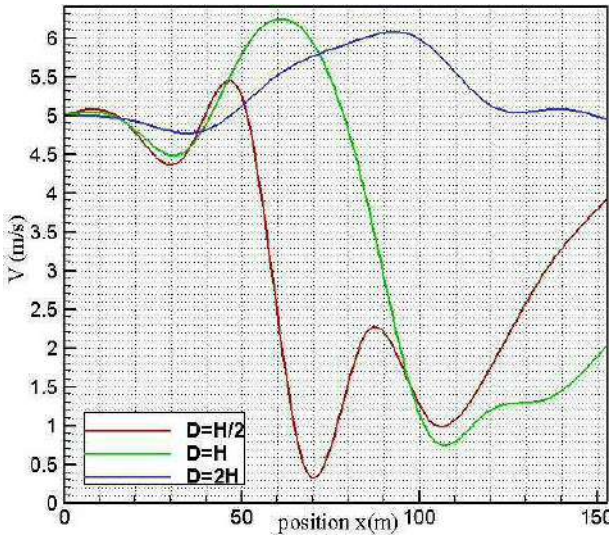
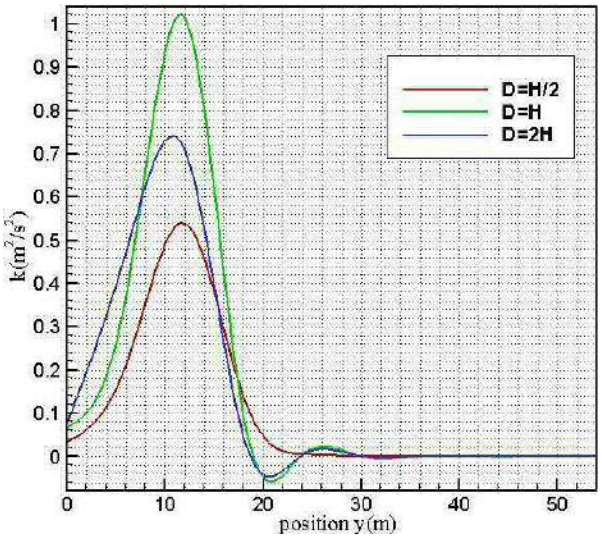
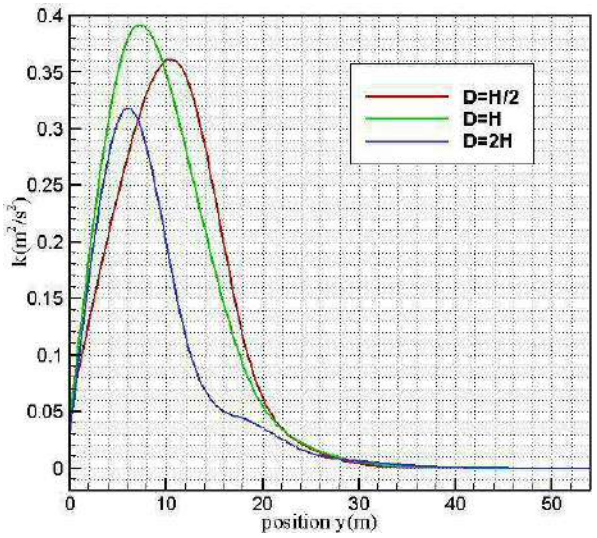


Figure 5.11 : Profils de vitesse pour défirent distance.

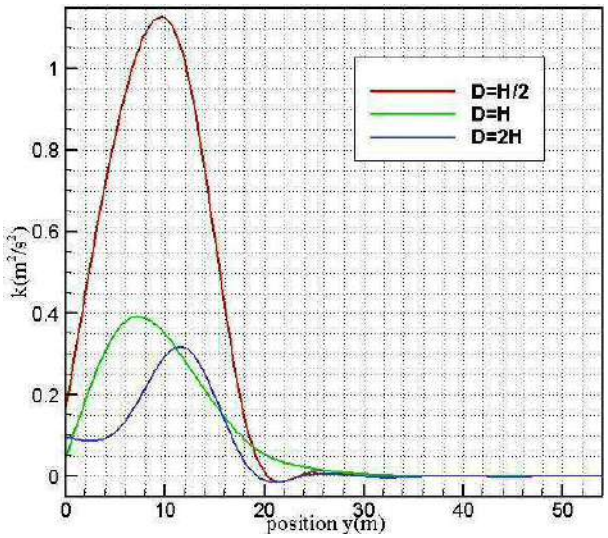
Ligne 1



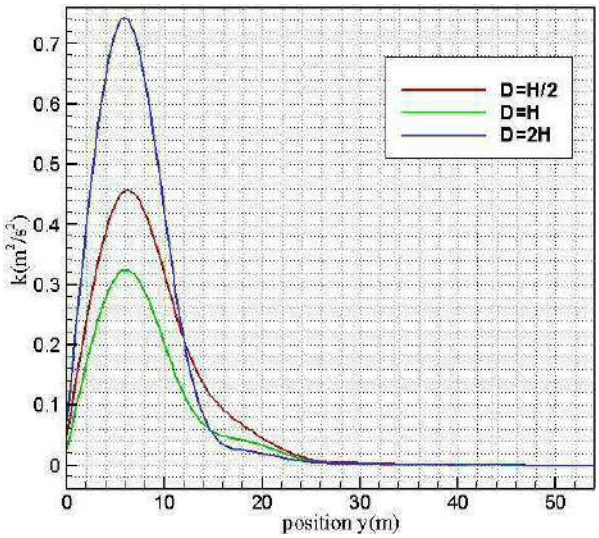
Ligne 2



Ligne 3



Ligne 4



Ligne 5

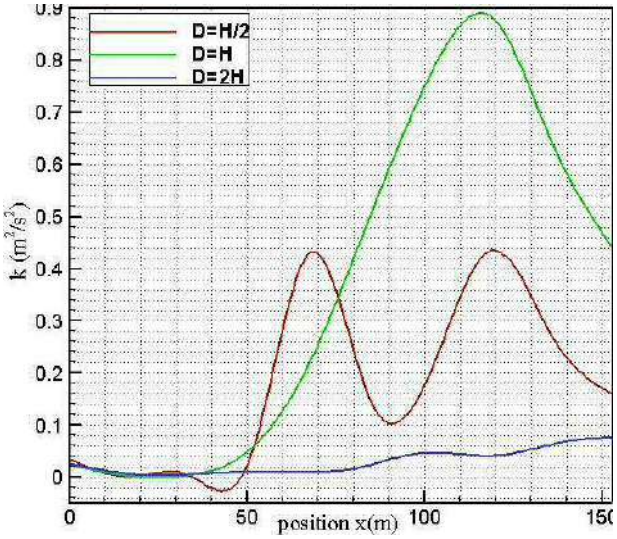
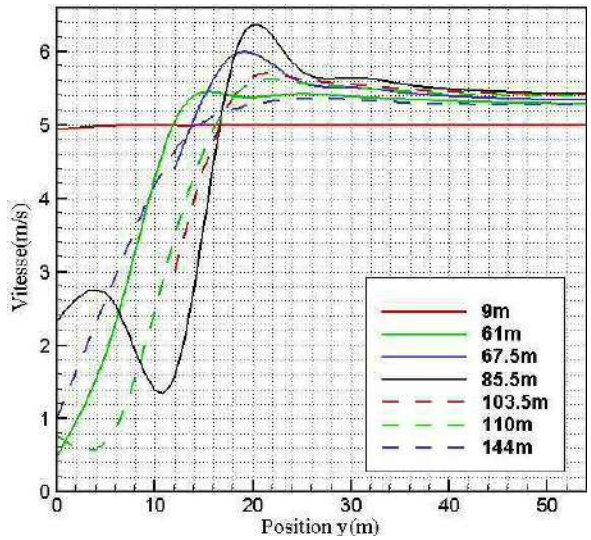
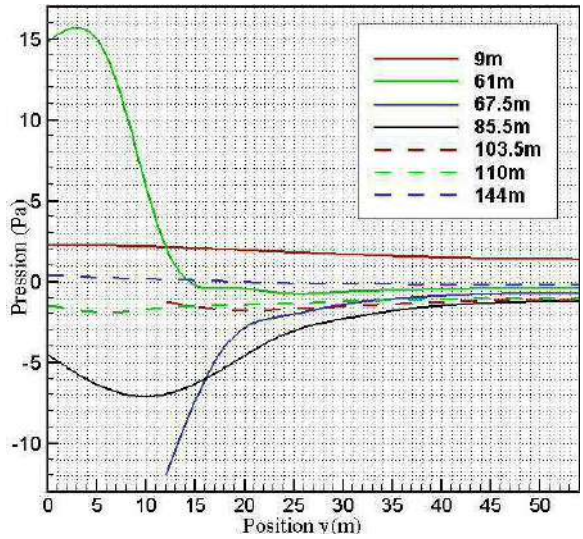


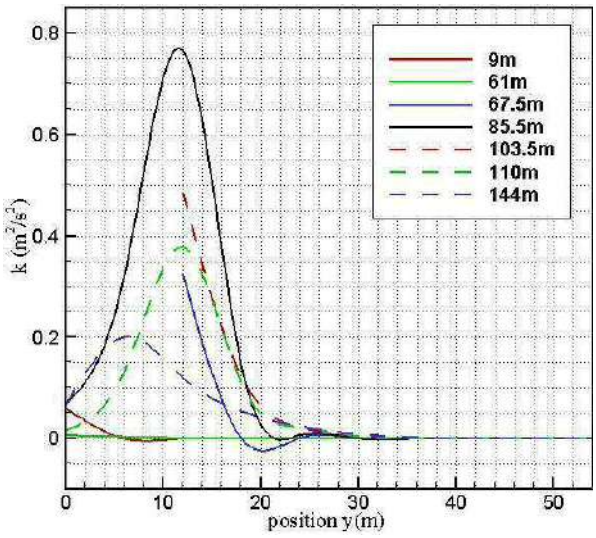
Figure 5.12 : Profils de l'énergie cinétique turbulente pour défirent distance.

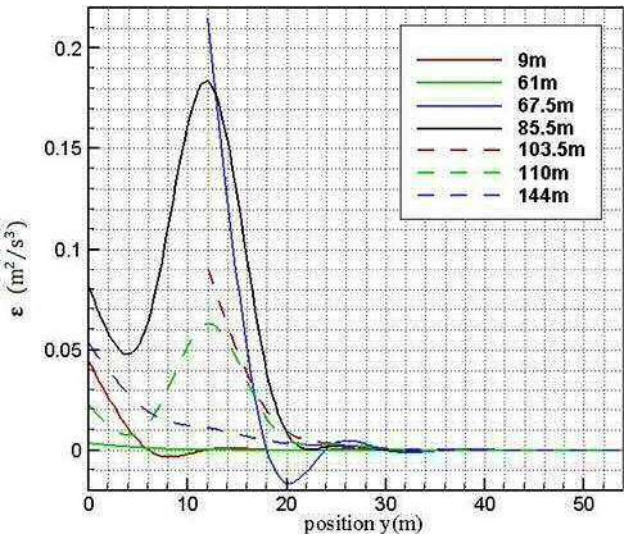
Pour savoir la variation de la vitesse, de l'énergie cinétique turbulente, la pression et la dissipation tourbillonnaire de turbulence, nous avons tracé des courbes comparatives sur différentes lignes

Plan 1 : pour z=52.5 m et positions x différentes

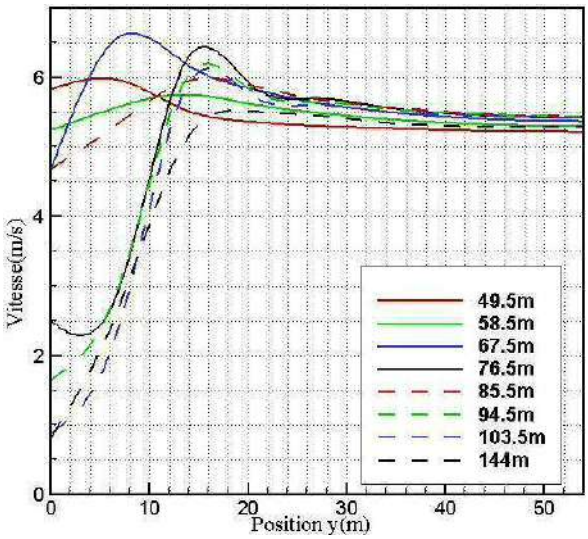


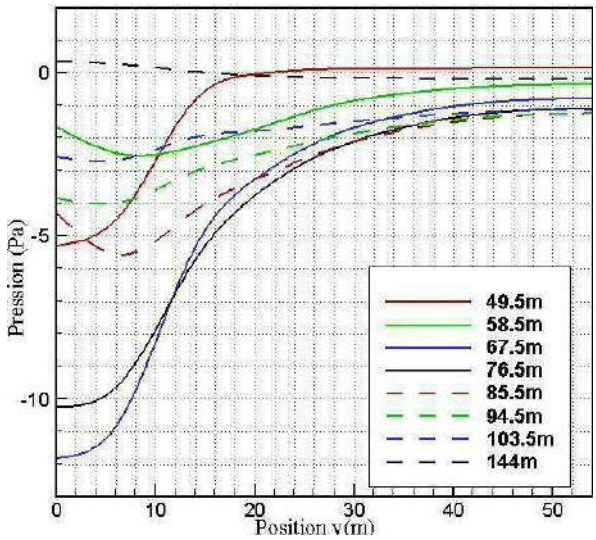


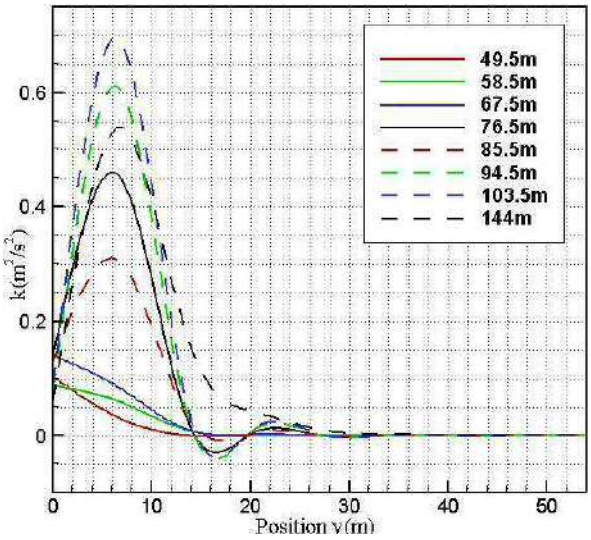


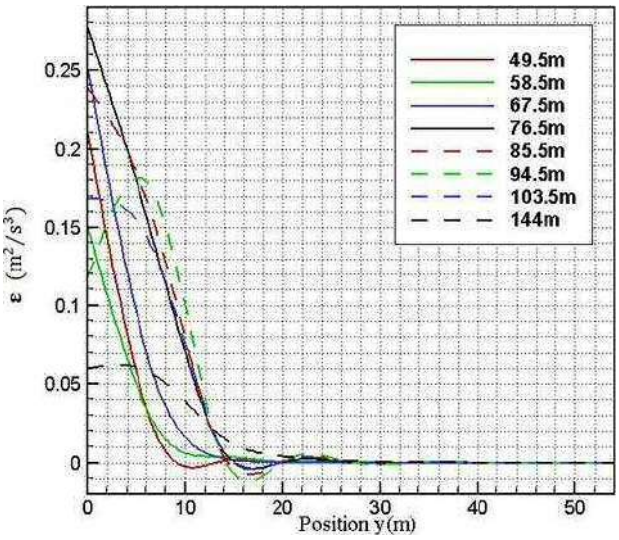


Plan 2 : pour z=64.5 m et positions x différentes

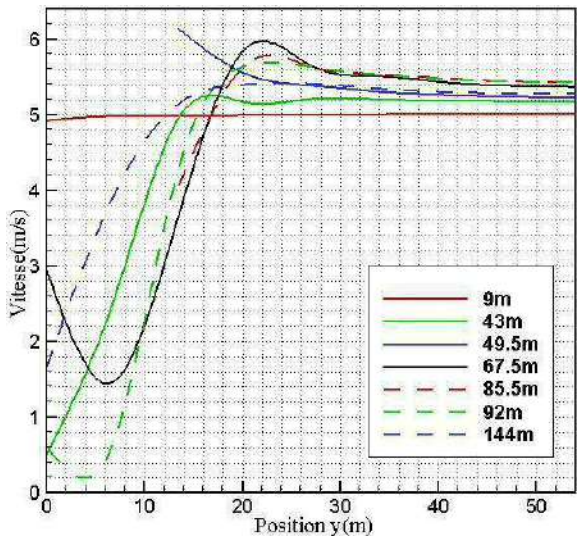


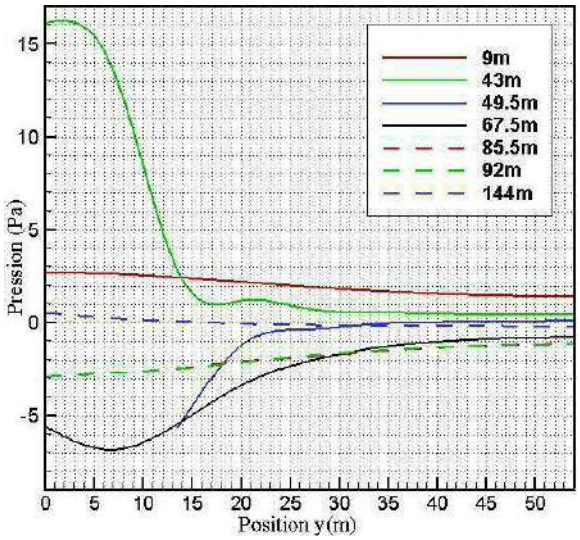


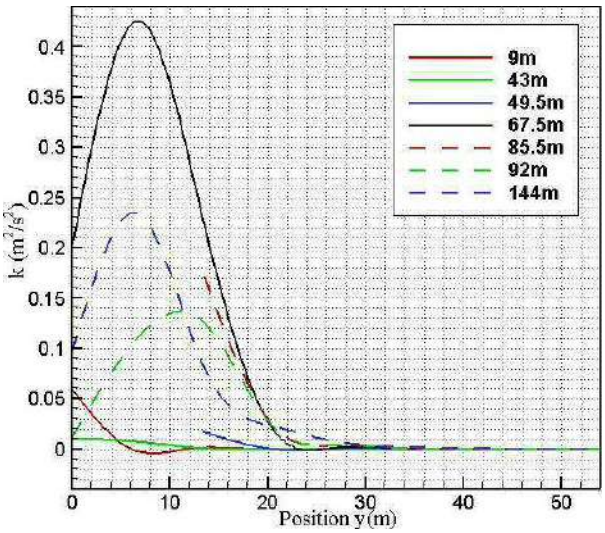


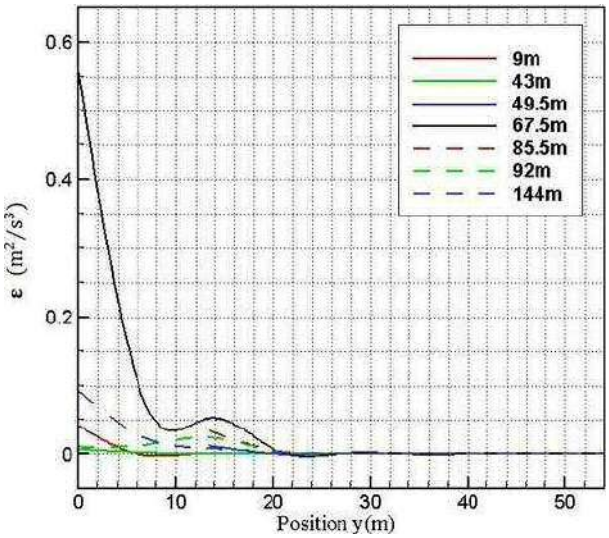


Plan 3 : pour z=76.5 m et positions x différentes









Conclusion générale

La présente étude a traité un problème d'importance capitale dans le domaine de l'aménagement urbain ; c'est le phénomène de l'écoulement de l'air autour des blocs dans une rue canyon.

En effet ce phénomène est étroitement lié au phénomène de la dispersion d'un polluant dans les zones urbaines. C'est un problème spécifique dans l'ensemble des perturbations environnementales et son grand impact sur l'environnement en général et sur la santé humaine. Cependant, la dispersion d'un polluant dans ces zones urbaines dépend fortement de vitesse de l'air, de son état de turbulence et de la géométrie

La présente étude considère quatre blocs disposés selon la configuration décalée.

La simulation est faite en utilisant le code CFX sous environnement Ansys 14.0. Le maillage adopté pour cette étude est un maillage raffiné de 437 254 nœuds. Le calcul est réalisé sur un PC Core 2 Duo, 3 Go de RAM. Le temps de calcul est de 24 heures pour une simulation.

Lors de cette étude, on a adopté le modèle de turbulence k-ε avec les coefficients donnés au chapitre 2. Par ailleurs, on a utilisé un profil uniforme pour la vitesse d'entrée.

Une étude paramétrique a été menée. On a voulu étudier l'effet de trois paramètres importants qui sont : la vitesse du vent, la distance entre les blocs et l'altitude des blocs.

Les résultats obtenus ont montré que les champs de vitesse ne présentent aucune symétrie comme sera le cas si les blocs étaient alignés sans décalage.

En outre, on a remarqué que plus la vitesse d'entrée est grande, plus la zone de recirculation sera grande et se localise derrière les blocs. Les premiers blocs des deux rangées (droite et gauche) sont les plus influencés. Les tourbillons latéraux qui apparaissaient pour les petites valeurs de la vitesse disparaissent si la vitesse augmente.

La région intermédiaire des deux rangées est caractérisée par un passage d'un courant d'air à grande intensité du gradient de vitesse. Cet effet est limité dans les régions lointaines après les obstacles et les côtés.

On peut conclure, d'après ces résultats préliminaires, que les zones les plus probablement pouvant être un lieu de concentration des polluants sont la région derrière les deux premiers blocs ainsi que la région entre les deux rangées de blocs.

L'étude montre que la position des centres et les tailles des zones de recirculation varient avec la vitesse, et que l'énergie cinétique turbulente augmente si la vitesse est élevée.

D'autre part, l'influence de la présence des obstacles diminue progressivement si on s'éloigne en hauteur de l'obstacle. Les courbes de la vitesse et de l'énergie cinétique turbulente confirment ceci. En effet, si on s'élève dans le niveau, la vitesse augmente et l'énergie cinétique turbulente se réduit. Mais à une certaine limite, la vitesse revient à la valeur d'entrée initiale tandis que l'énergie cinétique turbulente s'annule ; ceci est versifié même dans les zones après les obstacles et la zone intermédiaire.

Pratiquement, il sera intéressant de déterminer avec précision le niveau seuil au-dessus de l'obstacle qui sépare les régions dans les quelles l'écoulement est influencé par la présence de l'obstacle et les régions de non influence.

Dans la zone entre rangées de blocs, on a remarqué la formation d'une seule zone de recirculation. La taille de cette zone de recirculation diminue avec l'augmentation de la distance entre blocs. Ce qui indique que plus les blocs sont éloignés l'un de l'autre, moins sera la naissance de zones de tourbillons violents. Ainsi, il n'aura pas de régions privilégiées pour les concentrations de polluants.

Enfin, on peut noter qu'il sera plus intéressant d'établir une comparaison avec une étude expérimentale pour valider les résultats numériques obtenus.

D'autre part, on propose d'introduire l'étude de la concentration pour compléter l'analyse de dispersion de polluants et qui aura un intérêt pratique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Salim Mohamed Salim, "Computational study of wind flow and pollutant dispersion neartreecanopies", Thèse de PhD, University of Nottingham, June 2011, U. K. England.

[2] J. Ehrharda, N. Moussiopoulos, «On a new nonlinear turbulence model for simulating flows around building-shaped structures». Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 88 (2000) 91-99.

[3] M. Bouterra et al, « Etude de l'Effet de la Stratification Thermique sur la Dispersion d'un Polluant autour d'un Obstacle». Faculté des Sciences de Tunis Département de Physique. Campus Universitaire 1060 Tunis. Tunisie, Vol.6 (2003) 53-68.

[4] XiaominXie et al, «The impact of solar radiation and street layout on pollutant dispersion in street canyon». Journal of Building and Environment 40 (2005) 201–212.

[5] XiaominXie et al, «Impact of building facades and ground heating on wind flow and pollutant transport in street canyons. Journal of Atmospheric Environment 41 (2007) 9030–9049.

[6] Cornelia Wevers et al, «Numerical modelling of pollution dispersion from partly open industrial halls using a Lagrangian particle tracking method». The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010) Chapel Hill, North Carolina, USA.

[7] Riccardo Buccolieri et al, «Analysis of local scale treeeatmosphere interaction on pollutant concentration in idealized street canyons and application to a real urban junction». Journal of Atmospheric Environment 45 (2011) 1702-1713.

[8] Matteo Carpentieri et al, « Evaluation of a neighbourhood scale, street network dispersion model through comparison with wind tunnel data». Journal of Atmospheric Environment 37 (2012) 110-124.France.

[9] www.aerodynamique.com

[10] www.Physique Générale.com

[11] Dr ALLICHE Mounir, Cours« Simulation Numérique Des Ecoulements-CFD », Université Yahia fares de Médéa, 2012-2013.

[12] Karim MOUAICI, « Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia » ,Université de Bejaia, Mémoire d'ingéniorat 2002.

[13] Rapport interne, « Modélisation de l'écoulement d'air autour d'un profil de pale d'éolienne », Laboratoire de Recherche en Énergie ÉolienneLREE-06 – Janvier 2009, Université du Québec à Rimouski.Canada.

[14] ANSYS 14.Documentation, User's Guide. Modeling Guide. Tutorial Guide.

[15] PAQUETTE Sébastien, « Vérification du logiciel CFX pour la simulation de l'interaction arc-écoulement dans les disjoncteurs haute-tension »,Université de Montréal,Diplôme de Maitrise ès sciences appliquées (Génie mécanique),avril2011,Canada.

[16] BEDJEGHIT EL-HOUAS, « Etude expérimentale et numérique d'un écoulement autour d'obstacle carre et cylindre »,Université MENTOURI Constantine, mémoire deMagister, 2010.

[17] Site Web: http://perso.club-internet.fr/gum38

[18] Mounir ALLICHE et Kamel LAIDI, «Study of the Wind Potential in the Region of MEDEA (ALGERIA) » . International symposium on EFEEA 2010,2-4Nouvember 2010, Ghardia Algeria.