

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

Visa du chef de département  
des Sciences et de la  
Technologie  
Signature:.....  
Date:.....

# **L'effet de la géométrie et la forme de bâtiments sur Le comportement aérodynamique de l'écoulement**

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master académique en  
*«Installation Energétique Et Turbomachines»*

Encadreur: Dr. BENLEFKI  
Abdelkrim, M.C.B

Signature:.....

Date:.....

Membres du jury

KAHIL Yacine, M.C.B (Président)

BAGHDAD Mohamed, M.C.B (Examineur)

BENLEFKI Abdelkrim, M.C.B (Encadreur)

Réalisé par:  
BELKRAOUA  
Ben yahia

Signature:.....

Date :.....

Tissemsilt - 2017/2018

# Remerciements

Nous remercions tout d'abord notre seigneur « **ALLAH** » Soub-haanahou-Wataala de nous avoir accordé la chance, la santé et le courage tout au long de ce travail, le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur « **Dr. BENLEFKI Abdelkrim** », maître de conférences au centre universitaire de Tissemsilt, qui m'a orienté et dirigé au cours de ce modeste travail et m'a fait découvrir le monde passionnant de la recherche et avec qui j'ai eu le plaisir de mener tous nos travaux de mémoire. Sa disponibilité et son assistance tout au long de la préparation de ce mémoire.

Je souhaite également faire part de mes reconnaissances à tous les enseignants.

Un grand merci également à l'ensemble du personnel pédagogique, technique et administratif du département, principalement mes condisciples lors de la formation.

Je tiens à exprimer mes profonde gratitude à toutes celles et ceux qui m'ont apporté leur soutien, leur amitié ou leur expérience tout au long de ce travail de mémoire.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce document

En fin je ne pourrais terminer ces remerciements sans une pensée à l'ensemble de mes enseignants qui sont à l'origine de tout mon savoir.

Je n'oublie pas le personnel de la Bibliothèque Mme. Djahida. Et Noura.

# Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude, fruit de mes années d'instructions A:

Ma chère mère et mon honorable père pour leur soutien, leur aide

Leur patience et leur amour.

A mon très cher frère.

A mes très chères sœurs.

A tous mes enseignants chacun par son nom

Toute ma famille BELKRAOUA

Mes tantes, oncles, cousins, cousines,

Tous mes amis

A tous mes collègues : B. Bacha, B. Mohamed, N. Oualid, T. Tayeb,

N. Cheriet, G. Asma, K. Nadia, G. Naima.

A chaque personne qui m'a aidée.

A toute personne ayant participé de près ou de loin à mon épanouissement.

Toi cher lecteur.

**BELKRAOUA. Ben, yahia**

**SOMMAIRE**

REMERCIEMENTS.....	1
DEDICACES.....	2
SOMMAIRE .....	3
LISTE DES FIGURES.....	8
LISTE DES TABLEAUX.....	10
NOMENCLATURE .....	11
ABREVIATIONS.....	12
INTRODUCTION GENERALE.....	14

## **CHAPITRE 1 :Introduction et Etude Bibliographique**

Introduction .....	17
1.2 Définitions .....	17
1.2.1 L'air.....	17
1.2.2 L'atmosphère .....	17
1.2.3 La pollution.....	17
1.3 Définition de la pollution atmosphérique .....	18
1.4 Paramètre influençant la dispersion des polluants .....	18
1.5 Les facteurs météorologiques .....	19
1.5.1 Le vent.....	19
1.5.2 La température .....	19
1.5.3 Les précipitations et l'humidité .....	19
1.6 Les différents types de pollution.....	19
1.7 Les polluants et sources de pollution .....	20
1.8 Différentes études de Processus qui influe sur la dispersion dans la rue.....	20
1.8.1 Méthodes Expérimentales et Résultats .....	20
1.8.2 Méthodes Numériques et Résultats .....	23
1.9 Processus qui influe sur la dispersion dans le (Street-canyon) .....	27
1.9.1 Architecture des rues et qualité de l'air.....	27
1.9.2 Street-Canyon .....	28
1.9.3 Cavité.....	28
1.9.4 Rangées de (Street-canyon) .....	28
1.9.5 Géométrie non uniforme.....	28
1.9.6 Surfaces urbaine réelles .....	29
1.10 Effets de l'architecture de la rue sur les champs de concentration .....	29
1.10.1 Influence du rapport d'aspect .....	29
1.10.2 Influence des effets thermiques.....	29
1.10.3 Influence de la direction du vent .....	30

1.10.4 Influence des bords de la construction.....	30
1.10.5 Influence des bâtiments environnants.....	30
1.10.5.1 Effet de consolidation en amont .....	30
1.10.5.2 Effet des immeubles environnants à des niveaux différents.....	30
1.10.6 Influence de la forme du toit .....	31
1.10.7 Influence des éléments de rue .....	31
Conclusion.....	32

## **Chapitre 2 : Généralités sur Calculs de dynamique des fluides (CFD)**

2.1 Introduction .....	34
2.2 Mécanique des fluides numérique.....	34
2.3 Historique .....	34
2.4 Méthodes de discrétisation : .....	35
2.4.1 Méthode des différences finies.....	35
2.4.2 Méthode des volumes finis .....	35
2.4.3 Méthode des éléments finis.....	36
2.5 LE CFD .....	36
2.5.1 Qu'est-ce que la dynamique des fluides computationnelle(CFD)?.....	36
2.5.2 (CFD) - comment ça marche.....	37
2.5.3 Le besoin de (CFD) .....	37
2.5.4 Applications de (CFD).....	38
2.5.5 La stratégie de (CFD) .....	39
2.6 Discret de domaine et Domaine Continuer.....	39
2.7 Discrétisation utilisant la méthode du volume fini.....	40
2.8 Concevoir et créer la grille .....	41
2.8.1 Maillage (tri / têt) et (Quad / hexa).....	42
2.8.2 Exemple de maillage hybride.....	43
2.9 Mettre en place le modèle numérique .....	43
2.9.1 Calculer la solution.....	43
2.9.2 Examiner les résultats .....	44
2.9.3 Outils pour examiner les résultats .....	44
2.9.4 Envisager des révisions au modèle.....	44
2.10 Avantages de (CFD).....	45
2.11 Limites de (CFD) .....	46
2.12 Les modèles .....	46

2.12.1 Les modèles classiques .....	46
2.12.2 Les modèles de simulation.....	47
2.13 Définition de la turbulence .....	47
2.13.1 La simulation numérique directe – Direct numerical simulation (DNS) .....	47
2.13.2 La simulation des grandes échelles (LES) .....	48
2.13.3 Approche RANS (Reynolds Average Navier Stocks).....	49
2.14 Equations fondamentales de la dynamique des fluides .....	49
2.15 Properties of Turbulence .....	49
2.16 Le modèle k-Omega SST: .....	50
2.17 Modélisation mathématique.....	50
2.17.1 k-Omega SST model .....	50
2.17.2 Continuité: .....	51
2.17.3 Quantité de mouvement dans la direction x:.....	51
2.17.4 Reynolds Stress Transport Model: .....	51
2.18 Méthodes numériques de simulation.....	51
2.18.1 Méthode des éléments finis.....	51
2.18.2 Méthode des différences finis .....	52
2.18.3 Méthode des volumes finis .....	52
2.19 Approches pour la simulation des écoulements turbulents.....	53
Conclusion.....	53

## **Chapitre 3: Etude du cas**

3.1 Introduction .....	55
3.2 Description du cas et d´détails des calculs .....	55
3.3 Présentation des logiciels du calcul.....	56
3.4 Système d´exploitation (Linux-Ubuntu).....	56
3.4.1 Linux Ubuntu (les différentes versions) .....	57
3.4.2 Fonctionnement Linux.....	58
3.4.3 Les distributions .....	58
3.5 Logiciel de maillage gridmesh “GMSH” .....	59
3.5.1 Le module géométrie .....	60
3.5.2 Le module mesh .....	61
3.5.3 Le module post-traitement .....	61
3.6 La géométrie.....	62
3.6.1 La génération du maillage (2-D) .....	62

3.6.2 La génération du maillage (3-D) .....	63
3.6.3 Groupe physique {'physical groupe'} .....	63
3.7 Le code de calcul Code_Saturne.....	64
3.8 Logiciel SALOME.....	65
3.8.1 Ses fonctionnalités.....	66
3.8.2 (SALOME) peut être utilisé comme une application "autonome " permettant .....	66
3.8.3 Autres fonctionnalités.....	66
3.9 Résolution Numérique.....	67
3.10 Caractéristique du poste de travail .....	67
Conclusion.....	68

## **Chapitre 4: Résultats et discussion**

4.1 Introduction .....	70
4.2 Validation .....	70
4.2.1 Interprétation graphique .....	70
4.3 Analyse et discussion des résultats .....	71
4.4 Étude sensibilité de maillage .....	71
4.5 Une gorge de rue est définie par les côtés suivants.....	73
4.5.1 Le côté sous le vent « Lee-Ward » .....	73
4.5.2 Le coté au vent « Wind-Ward» .....	73
4.6 Etude des cas .....	74
4.6.1 La variation de la longueur de la rue .....	74
4.6.1.1 La longueur (L)=H .....	74
4.6.1.2 La longueur (L)=1.5 H.....	76
4.6.1.3 La longueur (L)=2H.....	78
4.6.1.4 Toit de forme plate.....	79
4.6.2 La variation de la hauteur des bâtié.....	80
4.6.2.1 La hauteur (H)=1.5H .....	80
4.6.2.2 La hauteur (H)= 2 H .....	82
4.6.2.3 La variation de la hauteur des bâtié .....	84
4.6.3 La variation de la forme de toit des bâtié.....	84
4.6.3.1 Toit en forme (face-à-face) .....	84
4.6.3.2 Toit en forme (face-à-face) .....	86
86	
4.6.4.1 Toit incliné .....	87

4.7. Lignes de courant 3D .....	89
Conclusion.....	90
Conclusions générale .....	92
Bibliographie.....	94
Résumé.....	98
ملخص .....	98
Summary .....	98
Annexe.....	100

Figure 1 : Les activités humaines les plus significatives, À la pollution de l'air.....	18
Figure 2 : Représentation schématique de la géométrie simple d'une rue .....	28
Figure 3 : Différentes combinaisons de formes de toits de bâtiments (Louka et al, 2001) .....	17
Figure 4 : Maille pour le problème De remplissage de bouteille. ....	31
Figure 5 : Champ de pression obtenue à partir d'une analyse (Les rotors et les hélices) .....	37
Figure 6 : La distribution de température obtenue à partir d'une analyse (collecteur) .....	38
Figure 7 : Vecteurs de vitesse dans une pompe à sang.....	38
Figure 8 : la grille utilisée pour résoudre le flux sur un profil aérodynamique .....	39
Figure 9 : Discrétisation utilisant la méthode du volume fini.....	40
Figure 10 : Types de cellules .....	41
Figure 11 : Classification de la grille. ....	42
Figure 12 : Maille de surface pour une grille Contenant uniquement des quadrilatéral .....	42
Figure 13 : Maille de surface pour une grille Contenant uniquement des tétraèdres. ....	42
Figure 14 : Maille hybride pour un port De soupape de moteur IC. ....	43
Figure 15 : Diagramme Démontre la différence entre (DNS) et (LES). ....	48
Figure 16 : Diagramme de la décomposition de Reynolds.....	50
Figure 17 : Domaine de calcul. ....	55
Figure 18 : Domaine de calcul et conditions aux limites pour la configuration de la simulation.....	55
Figure 19 : Une section de zoom montrant la forme des bâtiments et la route.....	56
Figure 20 : version linux.....	57
Figure 21 : système d'exploitation (GNU/LINUX). ....	58
Figure 22 : version Gmsh.....	59
Figure 23 : Le module géométrie .....	60
Figure 24 : Aspect du menu à chaque étape conduisant à la création d'un point .....	60
Figure 25 : Menu du module mesh.....	61
Figure 26 : La géométrie.....	62
Figure 27 : La génération du maillage (2-D) et Domaine de calcul.....	62
Figure 28 : La génération du maillage (3-D) et Domaine de calcul.....	63
Figure 29 : groupe physique .....	63
Figure 30 : Interface graphique de Code_ Saturne.....	65
Figure 31 : Interface Graphique de Salome. ....	67
Figure 32 : Différents profils CFD au milieu de la rue .....	71
Figure 33 : La géométrie d'une gorge de rue.....	73
Figure 34 : Profils de vitesse à l'entrer (L)=H. ....	74

Figure 35 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=H.....	74
Figure 36 : Profils de vitesse à la Sortie (L)=H. ....	74
Figure 37 : coupe verticale de champ iso vitesse (L)=H .....	75
Figure 38 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=H .....	75
Figure 39 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=H .....	75
Figure 40 : Profils de vitesse à l'entrer (L)=1.5 H .....	76
Figure 41 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=1.5 H.....	76
Figure 42 : Profils de vitesse à la Sortie(L)=1.5 H.....	76
Figure 43 : coupe verticale de champ iso vitesse (L)=1.5 H .....	77
Figure 44 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=1.5 H. ....	77
Figure 45 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=1.5H. ....	77
Figure46 : Profils de vitesse à l'entrer (L)=2 H.....	78
Figure 47 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=2H. ....	78
Figure 48 : Profils de vitesse à la Sortie (L)=2 H. ....	78
Figure 49 : coupe verticale de champ iso vitesse (L)=2H. ....	79
Figure 50 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=2H .....	79
Figure 51 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=2H .....	79
Figure 52 : Profils de vitesse à l'entrer (H)=1.5H.....	80
Figure 53 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (H)=1.5H .....	80
Figure 54 : Profils de vitesse à la Sortie (H)=1.5H .....	80
Figure 55 : coupe verticale de champ iso vitesse (H)=1.5H. ....	81
Figure 56 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (H)=1.5H. ....	81
Figure 57 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(H)=1.5H. ....	81
Figure 58 : Profils de vitesse à l'entrer (H)=2H.....	82
Figure 59 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (H)=2 H. ....	82
Figure60 : Profils de vitesse à la sortie (H)=2H.....	82
Figure 61 : coupe verticale de champ iso vitesse (H)=2H. ....	83
Figure 62 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (H)=2H. ....	83
Figure 63 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(H)=2H. ....	83
Figure 64 : Profils de vitesse à l'entrer (face-à-face). ....	84
Figure 65 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (face-à-face).....	84
Figure 66 : Profils de vitesse à la sortie (face-à-face). ....	85
Figure 67 : coupe verticale de champ iso vitesse (face-à-face). ....	85
Figure 68 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (face-à-face) .....	85
Figure 69 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(face-à-face) .....	86

Figure 70 : Profils de vitesse à l'entrer (Toit incliné).....	86
Figure71 : Profils de vitesse Entre les bâtiments (Toit incliné) .....	87
Figure 72 : Profils de vitesse à la sortie (Toit incliné) .....	87
Figure 73 : coupe verticale de champ iso vitesse (Toit incliné) . .....	87
Figure 74 : coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (Toit incliné).....	88
Figure 75 : Lignes de courant du champ de vitesse horizontal (Toit incliné). .....	88
Figure 76 : Lignes de courant 3D.....	89

### ***LISTE DES TABLEAUX***

Tableau 1 : Maille numérotation (Toit de forme plate). .....	72
Tableau 2 :Maille numérotation (Toit en forme face-à-face) .....	72
Tableau 3 : Maille numérotation (Toit incliné).....	73

## ***NOMENCLATURE***

<b>Symbole</b>	<b>Dénomination</b>	<b>Unités</b>
t	Représente Le Temps	(s)
$u_i$	Vitesse Instantané Lors De La I <sup>ème</sup> Mesure	(M/S)
p	Pression De L'air	(Pa)
$\rho$	La Masse Volumique Du Fluide	(kg/m <sup>-3</sup> )
g	L'accélération De La Pesanteur	(m/s <sup>2</sup> )
u	La Vitesse Moyenne	(m/s)
h	Hauteur De Bâtiment	(m)
k	Energie Cinétique De La Turbulence	(m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
L	Largeur	(m)
x, y, z	Coordonnées Cartésiennes Dimensionnelles	(m. s <sup>-1</sup> )
U,v,w	Composantes Transversal, Horizontale Et Verticale De La Vitesse	(m/s)
$u', v', w'$	Fluctuation De La Vitesse En X, Y, Z Respectivement	
$U_{ref}$	Vitesse De Référence	(m/s)
(n)	Volume De Contrôle	
(S)	La Surface	(m <sup>2</sup> )
2D	<i>Bidimensionnelles</i>	
3D	Tridimensionnel L	
W	Largeur De La Rue	(m)
$\varepsilon$	Taux De Dissipation De L'énergie Cinétique Turbulente	
Lee-Ward	Côté Sous Le Vent (Côté Gauche Du Bâtiment)	
Wind-Ward	Côté Face Au Vent (Côté Droit Du Bâtiment)	
i; j; k	Indices De Discrétisation Du Temps Et De L'espace	

## *Abréviations*

- (CFD) Computational fluid dynamics
- (RANS) Reynolds averaged Navier Stokes
- (DNS) Direct Numerical Simulation
- (EDF) Electricité De France
- (LES) Large Eddy Simulation
- (SST) Shear Stress Transport
- (PST) Particules en suspension totales
- (PIV) Vélocimétrie par image de particules
- (UFC) unités formant des colonies
- (MFN) La mécanique des fluides numérique
- (EDP) Équation aux dérivées partielles
- (LTS) Long Term Support
- (CAO) Conception assistée par ordinateur
- (MED) Modèle d'échange de données
- (CEREA) Centre D'enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique
- (MIMO) Microscale Model
- (CHENSI) Code Hydrostatique Eulérien Navier Stokes Microscale
- (K-ε) modèle de Turbulence

### *Liste des symboles*

- (SO<sub>x</sub>) : Oxydes de soufre
- (NO<sub>x</sub>) : Oxyde d'azote
- (CO) : Monoxyde de carbone
- (Pb) : plomb
- (CO<sub>2</sub>) : Dioxyde de carbone

# **Introduction général**

## Introduction général

La pollution de l'air est la résultante des multiples facteurs qui caractérisent la civilisation contemporaine: croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, des épandages de pesticides en agriculture, etc., de la navigation maritime, l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc.

Provoquée par le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère, la pollution atmosphérique constitue sans aucun doute la plus évidente des dégradations de l'environnement. [1]

La pollution atmosphérique est un phénomène qui met en jeu des émetteurs naturels, un milieu (l'atmosphère), des récepteurs (l'homme, l'animal, le végétal ou le matériau) et une sensibilité. 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). [2]

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. [3]. 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 [4].

Le danger relatif, présenté par les différents polluants gazeux et particuliers pour la santé, varie avec la concentration de ces polluants dans le temps et dans l'espace, et 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. La situation est encore plus compliquée car certaines combinaisons de polluants ont des effets cumulatifs. Des améliorations sensibles sont ainsi observables dans le cas des polluants dits «conventionnels» que sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>X</sub>), les particules en suspension totales (PST), le monoxyde de carbone (CO) et le plomb (Pb). [5]

La dispersion de la pollution provenant du trafic dans les rues est régie par une structure complexe de l'écoulement du vent qui peut difficilement être décrit par les modèles traditionnels de

Gauss. D'autre part, quelques règles simples peuvent être utilisées pour fournir des estimations approximatives des niveaux de pollution, en particulier en examinant les conditions les plus pessimistes. [6]

Les modèles sont basés sur des descriptions très simples des processus de dispersion, mais se concentrant d'avantage sur les paramètres des émissions dues au trafic, qui représentent des outils utiles pour les planificateurs du trafic. Des études plus détaillées du comportement de la pollution engendrée par le trafic dans les rues urbaines nécessitent des modèles qui peuvent relier les concentrations de pollution réelle et des conditions météorologiques qui prévalent. [6]

Une des caractéristiques les plus remarquables de l'écoulement du vent dans une rue de type canyon est la création d'un tourbillon de vent vortex, de sorte que la direction du vent au niveau de la rue est l'inverse de la circulation au-dessus du toit. La présence du vortex a été démontrée dans les premiers travaux d'Albert(1933), puis vérifiée par (Géorgie) et al (1967). Cette forme particulière des résultats de la circulation d'air dans les (Streets-canyons) dans des gradients de concentration est importante dans la rue. Les concentrations sur le côté du mur exposé au vent sont généralement plus élevées que sur le côté du mur inverse du vent. [6]

Le contexte et les résultats de cette étude sont présentés ici en détails. L'objet du:

Le Chapitre 1 est de présenter la partie de l'atmosphère dans laquelle se déroulent notre étude et de rappeler les phénomènes physiques que nous devons prendre en compte dans nos simulations, On présente aussi quelques travaux qui se sont intéressés à L'effet de la forme et la disposition des bâtiments sur La dynamique de l'écoulement.

Le Chapitre 2 présente alors en détail l'approche CFD que nous avons appliqué pour la simulation de l'écoulement {Applications de (CFD), La stratégie de (CFD), Maillage, Avantages de (CFD)}.

Le Chapitre 3 je fais une revue détaillée et seront décrits la construction de la géométrie du cas étudié (Influence du type et de la qualité du maillage sur les effets aérodynamiques d'un écoulement externe) avec la génération de son maillage (3-D), et présenté aussi les logiciel utilisé dans ce travail, (GMSH), (code de calcul Code \_ Saturne) et (Salomé). Des méthodes et approches de simulation des écoulements turbulents sont présentées.

Le chapitre 4, les résultats des simulations sont présentés en vue, d'étudier la structure de l'écoulement et de la dispersion dans la rue. Les profils de turbulence et de concentration en polluants simulés par modèle de turbulence ( $k-\omega$ ) sont comparés aux données expérimentales et numériques trouvés dans la littérature.

# **Chapitre 1**

## **Introduction et Etude Bibliographique**

## **Introduction**

L'étude d'écoulement autour d'un bâtiment est un problème Classique sur La dynamique de l'écoulement. Dans le cas incompressible, les études autant numériques Qu'expérimentales sont très nombreuses. On présente aussi quelques travaux qui se sont intéressés à L'effet de la forme et la disposition des bâtiments sur La dynamique de l'écoulement.

### **1.2 Définitions**

#### **1.2.1 L'air**

Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : « l'air est un mélange gazeux constituant l'atmosphère terrestre ». (Ramade, 2000, p. 13)

L'air ambiant: « un terme désignant l'état physicochimique de l'air se trouvant au niveau du sol dans une zone donnée ou encore celui qui est propre à des locaux d'habitations ou professionnels ». (Ramade, 2000, p.13)[70]

#### **1.2.2 L'atmosphère**

Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : « l'atmosphère est une couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère, et dont la présence constitue l'agent moteur du cycle de l'eau, on appelle « atmosphère réduite » une atmosphère théorique dont la pression serait uniforme et égale a sa valeur normale au niveau du sol, dans une telle hypothèse, l'atmosphère toute entière aurait une épaisseur de 8 km, alors que l'épaisseur de l'atmosphère réelle excède 1000 km ». (Ramade, 2000, pp. 33)[70]

#### **1.2.3 La pollution**

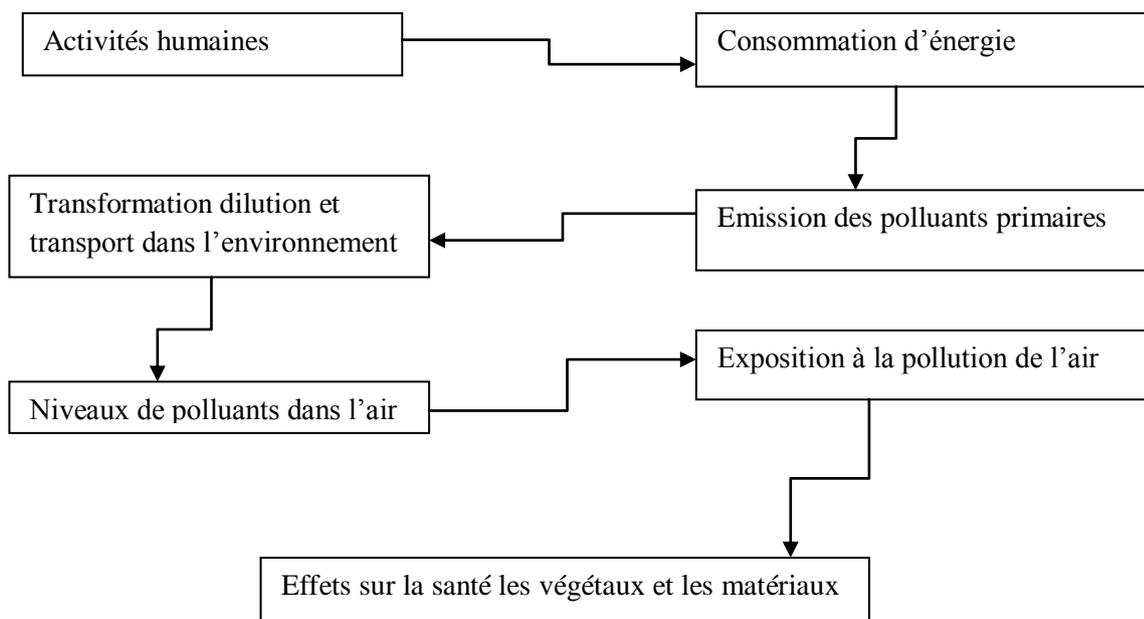
Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions ; « fort utilisé de nos jours le terme de pollution recouvre bien des acceptions et qualifie une multitude d'actions qui dégradent l'environnement, ce vocable désigne sans aucune ambiguïté les effets de l'ensemble décomposés toxiques libérés par l'homme dans la biosphère. A l'opposé, son emploi paraît moins évident au profane lorsqu'il concerne des substances inoffensives pour les êtres vivants parfois même favorables à ces derniers mais qui peuvent exercer une action perturbatrice dans les écosystèmes pollués du fait de leur trop grande concentration, tel est par exemple le cas du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) rejeté dans l'atmosphère par suite des combustions ou encore des phosphates contenus dans les détergers qui sont déversés avec les effluents urbains dans les eaux continentales ».[70]

### 1.3 Définition de la pollution atmosphérique

L'atmosphère constitue pour l'ensemble des êtres vivants, un élément de la biosphère ; non seulement parce que certaines d'entre eux y puisent l'oxygène qui leur est nécessaire , mais aussi parce que l'ensemble des propriétés qui la caractérise est en fait utile au développement des diverses formes de vie que nous connaissons ( PIERRE ,1975 ). [7]

Le Terme pollution atmosphère désigne l'ensemble de rejet de composés toxique libérés par l'homme dans l'atmosphère. Mais aussi les substances malodorantes qui son peuvent être vraiment dangereuses dans l'immédiat pour les organismes vivants, exercent tout de même une action perturbatrice sur l'environnement (EMILION et KOLLER ,2004). [8]

Ces modifications peuvent affecter l'homme directement à travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu, ou encore en enlaidissant la nature» (RAMADE, 1995).[9]



**Fig. 1- Les activités humaines les plus significatives, Dans la contribution À la pollution de l'air**

### 1.4 Paramètre influençant la dispersion des polluants

La dispersion des polluants dans l'atmosphère peut être influencée par des facteurs météorologiques (vents, températures, précipitations) ainsi que des facteurs topographiques (GUELLE et EMMANUEL, 1998). [10]

## **1.5 Les facteurs météorologiques**

La météorologie est un élément essentiel dans l'appréhension des phénomènes de dispersion de la pollution. Des paramètres météorologiques, on tire deux informations : les types de temps favorables ou défavorables à la dispersion des polluants d'une part, et les types de temps favorables à ou défavorables à la transformation physico-chimique des polluants (GUELLE et EMMANUEL, 1998). [10]

### **1.5.1 Le vent**

Le vent agit par sa fréquence, son intensité et la direction, où balayage et sur dispersion des polluants, son absence provoque la stagnation des polluants. Aggravant le problème de la pollution par condensation (GUELLE et EMMANUEL, 1998).

### **1.5.2 La température**

Influe se plusieurs façons. Tout d'abord une faible température entraîne un changement de comportement des gens en favorisant une hausse du chauffage urbain et de l'utilisation des véhicules, ce qui augmente les émissions. Mais la température agit aussi dans la formation de polluant secondaire tels que l'Ozone (GUELLE et EMMANUEL, 1998). [10]

### **1.5.3 Les précipitations et l'humidité**

Les précipitations contribuent à baisser le niveau de pollution grâce aux gouttes d'eau qui captent les impuretés atmosphériques.

L'humidité, non seulement de l'atmosphère mais aussi du sol influence les concentrations des polluants. Elle joue un rôle clé dans la formation des certains polluants comme l'acide sulfurique (brouillarde acide) et leur élimination (dépôts humides)[10]

## **1.6 Les différents types de pollution**

Les classifications des types les pollutions selon le milieu considéré :

Le sol, l'eau des lacs, rivières et Mers (l'hydrosphère) ou l'atmosphère (HAMELIN et al 2000). [11]

- les pollutions du sol : les sources responsables de ces pollutions sont résultent : épandage d'engrais, ou de pesticides, décharge publique.
- les pollutions de l'hydrosphère: les effluents d'une usine, les égouts d'une ville ou un Pétrolier accidenté.

- les pollutions de l'atmosphère est un ensemble encore plus vaste problème (Smog, pluie acide, effet de serre). [11]

## 1.7 Les polluants et sources de pollution

On admet généralement que le développement industriel reste la cause principale de la pollution atmosphérique croissante en milieu urbain. En effet l'augmentation de la population urbaine et la forte demande en énergie ont fait qu'augmenter et diversifier la nature et les sources de polluants. Dans les zones urbaines, les sources de pollution sont classées en deux catégories : les sources mobiles et les sources fixes. Ces polluants sont de nature gazeux ( $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ ) ou solide (Plomb, Poussières, Pesticides, Fumées). Cette liste non exhaustive est complétée par d'autres types de polluants (Aérosols liquides, Bactéries, pollens, Allergènes).[12]

## 1.8 Différentes études de Processus qui influe sur la dispersion dans la rue.

### 1.8.1 Méthodes Expérimentales et Résultats

**Xiaomin Xie et al. [13]** L'objectif de cette étude est de fournir une simulation des émissions de gaz d'échappement des véhicules dans un canyon de rue dans un environnement urbain. Standard, (RNG) et (Chen – Kim), (k- $\epsilon$ ). Les modèles de turbulence sont comparés avec les données mesurées en soufflerie pour l'optimisation du modèle de turbulence. Dans la première approche, on étudie l'effet des différentes formes de toit et des structures de bâtiment ambiantes. Les résultats indiquent que la dynamique du vortex dans le canyon (par exemple, l'orientation du vortex) et les caractéristiques de la dispersion des polluants dépendent fortement des formes du toit et des structures du bâtiment ambiant. Une deuxième série de calculs pour une simulation en trois dimensions de la configuration de la rue a été effectuée pour étudier l'influence de la géométrie du bâtiment sur la dispersion des polluants. La validation du modèle numérique a été évaluée à l'aide d'une vaste base de données expérimentales obtenue à partir de la soufflerie atmosphérique à l'Institut météorologique de l'Université de Hambourg, Allemagne (étude sur différentes géométries de toit dans un environnement urbain simplifié, 1995).

Les études démontrent que les formes des toits, les configurations des bâtiments ambiants et les géométries des bâtiments sont des facteurs importants qui déterminent les régimes d'écoulement et la dispersion des polluants dans la rue. [13]

**Sagrado et al. [14]** ont étudié expérimentalement la dispersion des polluants dans un rue bidimensionnel dans la soufflerie (L-2B) de l'Institut (Von Karman) à qu'ils considéraient principalement comme l'influence de la hauteur de l'aval bâtiment. Dans leur recherche, la source de polluants était située au milieu de la rue. Les mesures de concentration ont été effectuées au moyen de la technique de dispersion de la lumière et le champ de vitesse a été mesuré avec la vélocimétrie

par image de particules (PIV). Deux ensembles différents de configurations ont été définis: pays ouverte la rue non isolé. Dans les cas de pays ouvert, seul la rue a été étudiée sans aucun autre bâtiment autour. Dans la rue non isolée le troisième bâtiment a été placé en amont de la rue pour étudier son influence sur le flux de dispersion dans la rue. Dans les deux ensembles de configurations, trois hauteurs différentes du bâtiment en aval ont été étudiées. Les mesures ont montré que l'augmentation de la hauteur du bâtiment en aval diminue la concentration de polluants dans la rue. Dans les deux cas, pays ouvert et rue non isolée, le flux est radicalement séparé et accéléré lors de l'impact contre le premier bâtiment placé en amont. [14]

**Rotach et al. [15]** ont rapporté les premiers résultats d'une expérience de traçage urbain réalisée dans le cadre de «l'expérience de la couche limite urbaine de Bâle» dans une zone riche en informations sur les conditions de turbulence et d'écoulement disponibles. Dans cette expérience, la hauteur de libération et la hauteur des échantillons de concentration étaient proches du niveau du toit; les conditions météorologiques étaient principalement convectives; la turbulence mécanique était considérée comme importante en raison du caractère rugueux de la surface sous-jacente. La distribution de concentration s'est révélée essentiellement gaussienne dans le plan horizontal et certaines méthodes couramment utilisées pour estimer les largeurs de panache dans les modèles de dispersion appliqués ont été comparées aux observations. A partir des mesures effectuées sur un site sous le vent de la source, on a trouvé que pour une source de niveau proche du toit, seul un gradient vertical insignifiant de la concentration du traceur était présent dans une rue. [15]

**Ning et al. [16]** ont étudié expérimentalement et numériquement les caractéristiques de dispersion du panache d'échappement des véhicules à l'état de ralenti dans un environnement idéalisé et simplifié. Les concentrations de gaz et de particules dans le panache d'échappement de trois véhicules à moteur tournant au ralenti ont été mesurées dans un environnement isolé par temps calme. Ils ont constaté que malgré la différence dans les concentrations initiales, les polluants se décomposaient de façon exponentielle dans toutes les directions. Plus tard, les effets de la concentration d'émission initiale, de la vitesse de sortie, de la direction de sortie et de l'intensité du vent latéral ont été étudiés de façon paramétrique. Les résultats ont indiqué que la concentration initiale de polluants augmente les concentrations locales mais que le schéma de dispersion reste le même; la vitesse de sortie augmente l'impulsion du jet, ce qui entraîne une pénétration plus profonde en aval; l'angle de sortie influe davantage sur la dispersion des polluants que la concentration initiale de polluants et la vitesse de sortie. [16]

**Said et al. [17]** ont exploré les mouvements organisés sous-jacents, c'est-à-dire les structures cohérentes, dans la région proche du sillage d'un jet rond turbulent déchargé perpendiculairement d'une cheminée dans un flux croisé à l'aide de la technique PIV. Ce flux croisé s'est révélé assez

complexe en raison de sa nature tridimensionnelle et des interactions entre plusieurs régions d'écoulement. Ils ont examiné les régions de sillage de la cheminée et du panache à des niveaux proches du sommet de la cheminée et ont discuté de la géométrie complexe de ces structures dans le sillage du panache ainsi que de leur interaction avec le panache. Plus tard, ils ont décrit les structures de vortex (Kelvin – Helmholtz), les phénomènes de (down Wash), et l'effet de la hauteur de la cheminée. [17]

**Chung et Chung [18]** ont estimé les émissions des véhicules en mesurant les débits de circulation et en modélisant les émissions des véhicules en tant que sources linéaires le long du tunnel. Les effets de la ventilation du ventilateur et de l'effet de piston des véhicules en mouvement sur le débit d'air et la dilution des polluants ont été examinés numériquement. Les résultats ont révélé qu'une vitesse de pointe existe près du fond du tunnel en raison de l'effet de piston des véhicules. Les concentrations transversales de polluants atmosphériques sont distribuées de manière non uniforme et les concentrations augmentent avec la distance en aval. L'effet piston des véhicules peut à lui seul fournir une dilution de 25 à 34% des polluants de l'air dans le tunnel, ce qui se traduit par un effet de dilution de 43 à 70% selon les conditions de ventilation. [18]

**Gromke et Ruck [19]** ont effectué des mesures de champ et de concentration dans un modèle idéal d'un canyon urbain avec une rangée d'arbres disposés le long de l'axe central. Le modèle a été installé dans une soufflerie à couche limite atmosphérique et le flux d'approche a été dirigé perpendiculairement à l'axe de la rue. Une source de ligne intégrée au bas de la rue a été utilisée pour libérer du gaz traceur simulation des émissions d'échappement du trafic. Les arbres avec des couronnes sphériques ont été modélisés et positionnés à l'intérieur de la rue, en fonction du diamètre de la cime, de la perméabilité de la cime, de la hauteur du tronc et de l'espacement des arbres. La turbulence induite par le trafic a été simulée par des courroies rotatives avec des plaques minces. Les concentrations ont été mesurées sur les façades de la rue. Pour les couronnes de petits arbres, seuls de faibles changements de concentration ont été mesurés, mais l'augmentation du diamètre de la couronne a entraîné une augmentation des concentrations dans le mur sous le vent, associée à une réduction des concentrations locales au mur exposé au vent. Dans certains cas, une variation de la hauteur du tronc a conduit à une modification du schéma de concentration sur les parois. L'augmentation de l'espacement des arbres a entraîné une diminution notable de la concentration. [19]

**Jiang et al. [20]** ont mené une enquête sur la dispersion des flux et des polluants dans un canyon urbain avec des bâtiments et des tours parallélépipédiques par simulation numérique et expériences de réservoirs d'eau. Deux types de géométrie de canyon ont été testés. Les études ont indiqué que dans un canyon à crêtes progressives (bâtiments plus élevés du côté aval du canyon), la

hauteur et la forme des bâtiments inférieurs en amont jouent un rôle important dans la répartition des flux et des polluants, tandis que dans un canyon à encoches (bâtiments inférieurs en aval), les bâtiments inférieurs en aval ont peu d'influence; La substitution de hautes tours à des bâtiments en forme de parallélépipède d'un côté du canyon peut améliorer la ventilation des rues et réduire la concentration de polluants émis par les véhicules à moteur.[20]

**Ma et al. [21]** ont réalisé des mesures expérimentales et des simulations numériques de répartition de l'air et de distribution de polluants microorganismes dans l'auditorium et la zone de jeu dans un gymnase et proposé des méthodes pour contrôler la dispersion des polluants et améliorer la qualité de l'air intérieur. Les résultats ont montré que les concentrations de champignons et de bactéries sont inférieures à l'unité de 103 UFC (unités formant des colonies) qui satisfait aux exigences de la norme de qualité de l'air intérieur. Les résultats de la simulation numérique concordent quantitativement avec les données expérimentales, alors que certaines différences entre les données théoriques et les données expérimentales existaient dans les distributions atmosphériques. Ils ont également constaté que le nombre de personnes dans le gymnase joue un rôle important dans la qualité de l'air intérieur et que les paramètres environnementaux ont atteint la norme. [21]

**Garbero et al. [22]** ont étudié la dispersion d'un scalaire passif dans un district urbain idéalisé constitué d'un réseau d'obstacles de type bâtiment. Ils se sont concentrés sur un réseau de rues dans lequel la dimension latérale des bâtiments dépasse la largeur de la rue, une géométrie représentative de nombreuses villes européennes. Ils ont effectué une série d'expériences en soufflerie pour étudier l'effet de différentes géométries et directions du vent sur le processus de dispersion des polluants. Les mesures de concentration d'un traceur passif nous ont permis de déduire les principales caractéristiques caractérisant sa dispersion dans le réseau routier. Nous décrivons cela en mettant l'accent sur les rôles des différents processus de transfert. Ce sont la canalisation du traceur le long des axes de la rue, le mélange aux intersections des rues et l'échange de masse entre les rues et le flux atmosphérique sus-jacent. Nos expériences démontrent la dépendance de ces processus aux propriétés géométriques du réseau et à la direction du flux atmosphérique sus-jacent. [22]

### 1.8.2 Méthodes Numériques et Résultats

**Bottema [23]** a présenté un modèle analytique pour l'évaluation de la longueur de rugosité et de la hauteur de déplacement des groupes de bâtiments réguliers. Les résultats ont montré qu'à part la densité frontale (rapport de la surface frontale du bâtiment et de la surface au sol), la longueur du bâtiment dans le sens de la longueur et le schéma de disposition du bâtiment sont des paramètres importants. La méthode peut être appliquée à la cartographie de la rugosité des villes, à

l'optimisation de la conception des rues par rapport à la ventilation de l'air, à l'optimisation et à l'ajustement de la rugosité d'approche en soufflerie. [23]

**Gotting et al. [24]** ont avancé un modèle numérique tridimensionnel à échelle micrométrique MIMO pour calculer la dispersion d'un polluant passif à proximité d'un bâtiment en forme de U. Dans leur recherche, trois emplacements différents d'une source non flottante et six directions différentes du vent ont été examinés. Les concentrations calculées ont été comparées aux concentrations mesurées dans une soufflerie de couche limite, ce qui a montré une très bonne concordance entre les résultats numériques et les résultats en soufflerie. [24]

**Gross [25]** a étudié le flux d'air et la dispersion des polluants dans la rue en utilisant le modèle micrométrique ASMUS-F. Les résultats démontrent une forte dépendance à la turbulence induite par la voiture, alors que la forme des toits et des arbres le long de la rue ne modifie la situation que localement. [25]

**Kumar et al. [26]** ont développé un modèle analytique basé sur des schémas de paramétrisation de la théorie de la couche limite atmosphérique pour analyser les problèmes de dispersion des polluants. [26]

**Li et Stathopoulos [27]** ont évalué la distribution des polluants atmosphériques autour d'un bâtiment en résolvant l'équation de concentration basée sur le champ de vent précédemment simulé. Ils ont appliqué le schéma hybride pour l'évaluation de la concentration de polluants autour d'un bâtiment rectangulaire pour deux sources différentes dans des conditions de stratification atmosphérique neutre. Les résultats de la simulation ont été comparés aux données expérimentales disponibles provenant d'études antérieures dans des souffleries de couche limite. Il a montré que les données numériques concordaient bien en aval du bâtiment mais s'accordaient moins bien sur le mur et dans la zone de sillage. [27]

**Chabni et al. [28]** ont étudié la dynamique des écoulements et la dispersion des concentrations dans de rue en utilisant la méthode de simulation par grands remous pour étudier l'influence du débit instantané sur le champ de concentration. De plus, la méthode LES a été utilisée en particulier pour étudier les caractéristiques bidimensionnelles du champ de concentration établi pour les débits perpendiculaires à la rue avec les émissions libérées près du plancher de la rue par les véhicules à moteur. Les résultats ont montré que, pour une rue avec  $D / H = 2$ , où  $D$  est la largeur de la rue et  $H$  est la hauteur du bâtiment, la solution statistique moyenne présentait deux tourbillons contrarotatifs. La concentration dans la région sous le vent du canyon, comparée à celle du vent, est significative lorsque le vent est perpendiculaire à l'axe du canyon. [28]

**Chan et al. [29]** ont développé un modèle numérique bidimensionnel basé sur des équations de Navier-Stokes moyennées par Reynolds couplées à une série de modèles standards de turbulence kappa-epsilon et de modèles de turbulence kappa-epsilon pour simuler le développement du fluide et la dispersion des polluants dans un canyon isolé avec le code FLUENT. Ils ont trouvé que dans leur étude, le modèle de turbulence RNG k-epsilon s'est avéré être le modèle de turbulence le plus optimal couplé au modèle de rue bidimensionnel développé; il a été démontré que les concentrations de polluants dimensionnés calculés et mesurés étaient moins dépendantes de la variation de la vitesse du vent et des conditions de résistance de la source pour le rapport d'aspect du rue étudié du cas  $D / H = 1$ . Cependant, la configuration de la rue a une influence significative sur la dispersion des polluants. La rue plus large et la hauteur plus basse des bâtiments sont favorables à la dilution des polluants dans le canyon de la rue. Le développement des écoulements de fluides a démontré que le ou les tourbillons rotatifs générés dans le canyon urbain peuvent transporter les polluants d'une source de ligne jusqu'aux surfaces murales des bâtiments. [29]

**Tsai et al. [30]** ont conduit une simulation numérique tridimensionnelle pour analyser les effets de l'excès de température du sol et du bâtiment sur le flux d'air et la dispersion des polluants dans un canyon urbain. Dans le cadre de cette recherche, les émissions des véhicules ont été estimées à partir des débits de circulation mesurés et modélisées en tant que sources de lignes en bande, avec une longueur de rue et des largeurs de bande égales aux largeurs typiques des véhicules. Les deux mesures et les simulations ont révélé que les concentrations de polluants suivent généralement le débit de la circulation, diminuent lorsque la hauteur augmente et deviennent plus élevées du côté sous le vent que du côté du vent. [30]

**Blocken et al. [31]** ont réalisé des simulations CFD en régime permanent de la dispersion des polluants dans la couche limite atmosphérique neutre avec le code commercial Fluent 6.1 pour trois études de cas: dispersion du panache à partir d'une cheminée isolée, émission à faible impulsion d'un événement sur le toit d'une cubique isolée. Modèle de bâtiment, et l'échappement à haute impulsion d'une cheminée sur le toit d'un bâtiment rectangulaire de faible hauteur avec plusieurs structures sur le toit. Les résultats ont été comparés avec le modèle gaussien, le modèle semi-empirique ASHRAE, et les mesures en soufflerie et à pleine échelle. Il a été montré que dans les trois cas et avec tous les modèles de turbulence testés, la propagation du panache latéral est significativement sous-estimée. Il a été suggéré que des simulations transitoires pourraient être nécessaires pour obtenir des résultats plus précis. Les résultats numériques étaient assez sensibles à la valeur du nombre de Schmidt turbulent. [31]

**Wang et al. [32]** ont étudié la voie probable de la dispersion des polluants atmosphériques et des agents pathogènes dans l'espace de réentrée d'un immeuble résidentiel de grande hauteur (HRR)

à Hong Kong. Dans le cadre de leurs recherches, un modèle de bâtiment HRR de 30 étages à l'échelle 1: 150 a été testé dans une soufflerie avec un flux simulé de couches limites atmosphériques. Le gaz traceur, propane libéré par les parties inférieure, centrale et supérieure du bâtiment, a été mesuré par détection par ionisation de flamme qui a été utilisée pour simuler la dispersion de polluants atmosphériques dans l'espace de réentrée. Les résultats ont montré que les polluants atmosphériques ou agents pathogènes pouvaient être dispersés principalement le long des trajets verticaux, ce qui posait un risque potentiel pour les voisins adjacents immédiatement au-dessus de l'emplacement de la source. La direction du vent pourrait également affecter la dispersion. [32]

**Liu et al. [33]** ont étudié numériquement le champ de vent et la dispersion des polluants dans une zone urbaine avec des bâtiments surpeuplés et un trafic intense par la méthode LES avec le modèle dynamique Lagrangien pour fermer la contrainte d'échelle sousmaille. Les champs de vitesse et de température du vent sont calculés de 7h du matin le 6 septembre 2005 à 7h du jour suivant et le champ de concentration des polluants est calculé de 6h à 18h le 6 septembre 2005. La distribution des champs de vent et des polluants a été démontrée dans le site par le modèle combiné proposé et ils ont été comparés avec ceux calculés par le modèle de l'élément de traînée dans tout le domaine de calcul. Les résultats ont montré que le modèle combiné est une méthode appropriée pour prédire la dispersion des champs de vent et des polluants dans la zone de bâtiment surpeuplée. [33]

**Mei et al. [34]** ont étudié numériquement le transport des polluants au niveau des piétons dans les rue avec des rapports d'aspect multiples, considérant divers scénarios de stratification thermique instable et l'environnement naturel, résolvant le flot turbulent non isotherme, le champ de température et propagation de polluants dans et au-dessus des rue par le modèle de turbulence de k-epsilon réalisable avec le traitement amélioré de mur. Les résultats de la simulation numérique indiquent que:[34]

(1) un régime de flux à un vortex est observé pour les canyons peu profonds avec  $H / W = 0,5$  alors qu'un régime d'écoulement à vortex multiple est observé pour les canyons profonds avec  $H / W = 2,0$ .

(2) on peut observer des régimes à un vortex et à plusieurs vortex pour les rue avec  $H / W = 1,0$ , où le tourbillon secondaire pourrait être initié par la séparation des flux et intensifié par une stratification thermique instable. [34]

**Mei et al. [35]** ont présenté une simulation numérique sur le transport de particules de poussière dans rues urbains en utilisant la méthode de Navier-Stokes (RANS) moyennée par

Reynolds, et ont obtenu des champs de débit à deux phases solides à l'échelle régionale. Dans cette étude, quatre modèles typiques de construction de rues, à savoir les bâtiments de faible hauteur, les bâtiments en élévation, les bâtiments abaissés et les immeubles de grande hauteur ont été analysés lorsque la distribution des fractions volumiques de particules reflétait les propriétés de base des particules. Transport dans les canyons. Pour évaluer les performances de transport des particules de poussière dans les modèles, trois indices, à savoir l'efficacité du transport des particules, la fraction de suspension et la densité de la suspension, ont été définis. Les résultats ont montré que la variation de la vitesse de l'air, de la vitesse verticale et de la vitesse de fluctuation sur le toit des canyons le long de la direction  $x$  a été examinée séparément; la vitesse de fluctuation était le mécanisme dominant de la suspension de particules dans les canyons. [35]

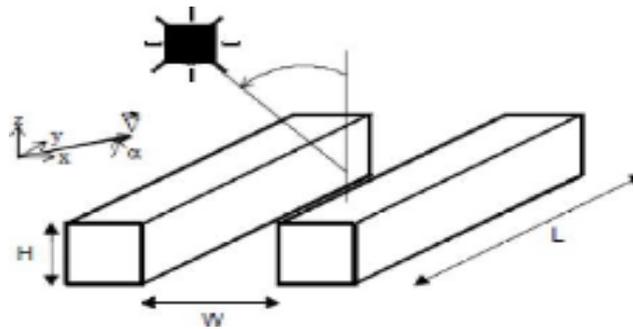
**Li et Stathopoulos [36]** ont présenté la simulation numérique de la dispersion des polluants atmosphériques autour des bâtiments cubiques et rectangulaires en utilisant le modèle de turbulence  $k$ -epsilon standard. Les résultats ont été comparés avec des données expérimentales et des résultats de simulation numérique passés. L'influence des critères de convergence sur la solution numérique a été étudiée et l'erreur de discrétisation a été estimée en utilisant deux systèmes de grille différents. Des valeurs seuils spécifiques pour les critères de convergence ont été recommandées. [36]

## **1.9 Processus qui influe sur la dispersion dans le (Street-canyon)**

### **1.9.1 Architecture des rues et qualité de l'air**

L'écoulement du vent et les caractéristiques de turbulence sont d'une importance capitale dans l'estimation du niveau de pollution dans les rues. En effet, l'écoulement moyen régit le mécanisme de transport des polluants bien que la turbulence influe fortement sur le mélange des polluants et les mécanismes de dispersion. Quand on étudie la dispersion des polluants dans les rues, il est donc essentiel d'évaluer l'influence de la géométrie de la rue sur ces mécanismes. Cela peut se faire soit en effectuant des recherches sur la variabilité des écoulements et la turbulence dans le voisinage immédiat du (Street-canyon) en tenant compte de la géométrie variable de la rue ou, subsidiairement, en évaluant directement l'influence sur les caractéristiques de dispersion due à l'évolution des propriétés du (Street-canyon). Les deux approches ont été suivies dans le cadre du (TRAPOS). [37]

La figure 2 montre un (Street-canyon) prototype car il peut être plus simplement décrit par son rapport d'aspect ( $W / H$ ) (largeur d'une rue par rapport à la hauteur du bâtiment) et son orientation par rapport à la direction du vent et la position du soleil (Louka et al, 2001). [37]



**Fig.2- Représentation schématique de la géométrie simple d'une (rue) [37]**

### 1.9.2 Street-Canyon

Cette configuration définit l'approche traditionnelle à l'étude de la pollution d'un (Street-canyon), de la turbulence dans la soufflerie ou de modèles numériques (Kastner-Klein, 1999). L'influence de l'approche de la direction d'écoulement par exemple (Kastner-Klein et Plate, 1999), également aux observations à l'échelle réelle peuvent être utiles à cet égard, mais généralement une variation systématique des conditions est au-delà des possibilités de l'expérimentateur. [38]

### 1.9.3 Cavité

Un (Street-canyon) peut être simulé par une cavité. Dans cette configuration, il n'y a pas de « premier effet des capacités », mais le vent ascendant des surfaces urbaines ne peut avoir les caractéristiques d'écoulement d'un modèle de construction irrégulière et rugueuse (Kovar - Pankus et al, 2001). [39]

### 1.9.4 Rangées de (Street-canyon)

Pour résoudre les problèmes avec le canyon simple, des essais ont été faits pour examiner, à quelle ligne l'écoulement commence à devenir auto-similaire et donc, où la pollution (Street-canyon) ressemble à la situation urbaine typique. Brown et al (2000) soutiennent que c'est le cas au bout de la 6ème ligne de (Street-canyon). [40]

### 1.9.5 Géométrie non uniforme

Les bâtiments entourant immédiatement le (Street-canyon) de l'intérêt n'ont généralement pas une géométrie rectangulaire simple. (Rafailidis 1997) a établi un rapport sur l'influence considérable de la forme du toit sur les caractéristiques de la turbulence et des concentrations de polluants au sein, et au-dessus d'un (Street-canyon). Aussi, l'effet des obstacles en amont avec une hauteur différente de celle du (Street-canyon) lui-même a été étudié en utilisant un modèle numérique (Assimakopoulos et al, 2000). [41]

### **1.9.6 Surfaces urbaine réelles**

L'approche d'une modélisation plus réaliste pour les (Street-canyon) urbains est certainement réalisée pour imiter la géométrie de la rue avec autant de détails que possible. Cela est correct pour la soufflerie ainsi que les expériences numériques (Chauvet et al, 1999 et 2000). [40]

## **1.10 Effets de l'architecture de la rue sur les champs de concentration**

### **1.10.1 Influence du rapport d'aspect**

Des expériences en soufflerie ont été réalisées à l'Université du Surrey pour étudier l'influence du rapport d'aspect sur le système de vortex dans la cavité. Pour cela cinq rapports d'aspects différents ont été pris ( $w/h$ ) = 2, 1, 0,7, 0,5 et 0,3. Des simulations numériques de ces formations ont été réalisées simultanément avec le modèle de fermeture ( $k-\epsilon$ ) CHENSI à l'ECN de Nantes. Les résultats montrent qu'il y a un accord assez grand entre les résultats numériques et mesurés, sauf à proximité des murs, où CHENSI sous-estime légèrement la composante de vitesse tangentielle, conduisant à une surestimation de la taille du vortex secondaire. En outre, l'emplacement de vortex principal (supérieure) est toujours situé à 5-15% plus haut et plus proche de la paroi avale dans les prédictions par rapport aux expériences. [39]

On peut constater à partir des prévisions CFD que le nombre de zones de recirculation et de leur position varie en fonction du rapport d'aspect. Alors que les Street-canyons, avec une exposition plus large du rapport d'aspect d'un seul (primaire) vortex avec éventuellement une contre-rotation faible du vortex près du fond, des Street-canyons étroits peuvent donner lieu à la formation d'une structure à vortex multiple. [39]

Il est peut être établi à partir de ces données que la transition entre l'ingérence de sillage et l'écrémage des régimes d'écoulement se produit pour un rapport d'aspect plus grand que 2. Toutefois, il convient de noter qu'un système de vortex qui est efficace pour l'évacuation des polluants provenant d'une rue est également efficace pour l'introduction de polluants provenant de sources externes dans cette rue (Kovar - Panskus et al, 2001). [39]

### **1.10.2 Influence des effets thermiques**

La position relative du soleil est d'une importance capitale dans la détermination du régime d'écoulement dans le Street-canyon, en particulier à des vitesses de vent faibles. En effet, le rayonnement solaire est la principale source de chaleur, tandis que la présence d'ombres peut conduire à des écarts de température importants entre les murs. Les effets de flottabilité produit, affectent le système de vortex dans la rue et par conséquent la ventilation de la rue (Kovar - Panskus et al, 2001) [39].

### **1.10.3 Influence de la direction du vent**

L'influence de la direction du vent sur les profils de concentration dans des régions isolées, idéalisées, des Street-canyons a été étudié dans la soufflerie à l'Université de Karlsruhe, en Allemagne (Kastner-Klein et Plate, 1999)[15]. Une étude expérimentale mise en place et les résultats de deux configurations différentes. Un gaz traceur a été libéré dans la rue à partir d'une source linéaire de référence avec un taux d'émission constant et les concentrations ont été mesurées à trois endroits différents de mur du (Street-canyon). Deux points d'échantillonnage ont été localisés à proximité des bords latéraux des bâtiments et le troisième dans le centre du bâtiment. [42]

### **1.10.4 Influence des bords de la construction**

La concentration au milieu de la rue peut être beaucoup plus importante que celle à proximité des bords latéraux des bâtiments. On peut en conclure que le Vortex en développement par rapport au renforcement des bords latéraux a une forte influence sur les écoulements et les caractéristiques de dispersion dans les Street-canyons. Cette influence s'étend jusqu'à environ trois fois la hauteur du bâtiment à partir du bord latéral vers le centre du Street-canyon et qu'il provoque un composant d'écoulement prononcé le long de l'axe de la rue (Kastner-Klein et al, 2001) [42]

### **1.10.5 Influence des bâtiments environnants**

#### **1.10.5.1 Effet de consolidation en amont**

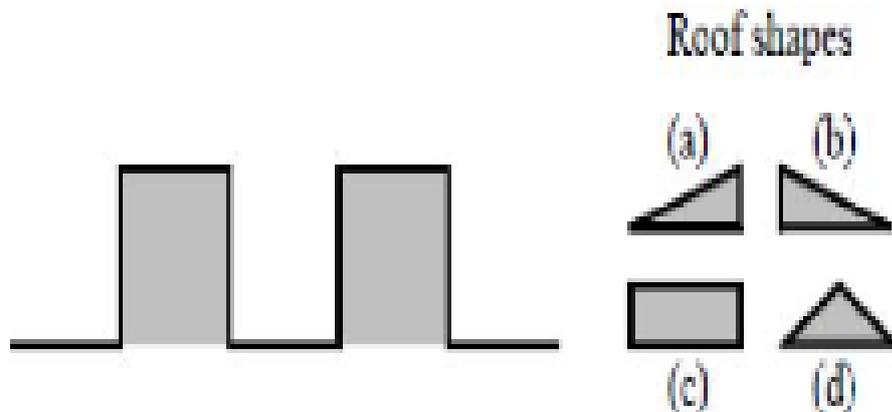
Les expériences de la soufflerie à l'Université de Karlsruhe, en Allemagne, ont été prolongé par une étude sur l'influence des bâtiments supplémentaires ou près, sur le modèle de concentration dans le (Street-canyon) (Kastner-Klein et Plate, 1999). Les résultats des configurations avec un ou deux bâtiments supplémentaires au montrent où la ventilation de la rue est réduite par rapport à la présence de bâtiments en amont. [38]

#### **1.10.5.2 Effet des immeubles environnants à des niveaux différents**

L'influence d'un plus grand (+H /2) ou moins (-H / 2) le renforcement des bâtiments identiques a été étudié à l'Université Aristote de Salonique, avec des simulations numériques effectuées avec le code MIMO (Assimakopoulos et al, 2000). Les concentrations de polluants maximales sont observées sur le mur (**Le côté sous le vent**), mais la ventilation de la rue est renforcée par rapport au scénario de référence. [41]

### 1.10.6 Influence de la forme du toit

Différentes combinaisons de formes de toits de bâtiments à la fois (Le côté sous le vent) et (Le coté au vent) d'un (Street-canyon) rue (2-D) isolé.



**Fig.3 - Différentes combinaisons de formes de toits de bâtiments (Louka et al, 2001). [43]**

Avoir une modification du toit de l'immeuble, change de manière significative le système de vortex dans la rue et conduit à de plus grandes concentrations de polluants sur le mur (Le coté au vent) et des concentrations plus faibles sur le mur (Le côté sous le vent), au moins pour le premier tiers de la hauteur du bâtiment. Comme conséquence de cette modification du système de vortex, les polluants sont stagnés dans la rue. On conclut, que la géométrie du toit a une forte influence sur la ventilation du canyon. [43]

### 1.10.7 Influence des éléments de rue

La géométrie réelle doit être simplifiée lors de la simulation numérique parce que la puissance des ordinateurs ne permet pas de résolution de grille assez fine pour régler l'écoulement à toutes les échelles. Par conséquent, les bâtiments sont généralement modélisés comme un assemblage de parallélépipèdes, ayant ainsi des toits plats, un pas de structure similaire dans le cas des rues obliques et la construction des surfaces «lisse».[38]

La géométrie de base est celle qui est utilisée dans les modèles numériques et les différents aspects ont été modifiés séparément: le lissage des rues, en prenant les toits de la géométrie en compte, l'introduction de voitures dans la rue, en introduisant des balcons sur les murs et les portes d'entrée. En règle générale, tous les changements géométriques induire des altérations de la turbulence et les sources de friction, ce qui pourrait modifier le débit et les champs de turbulence et, par conséquent, la dispersion des polluants (Kastner-Klein et al, 2001). [38]

## **Conclusion**

Dans ce chapitre ont a présenté une synthèse bibliographique de quelques chercheurs qui ont réalisé leurs études sur la dynamique du fluide ou bien le mouvement d'écoulement dans L'effet de la forme et la disposition des bâtiments sur la dynamique de l'écoulement, pour prendre une idée sur ce travail.

# **Chapitre 2 :**

## **Généralités sur Calculs de dynamique des fluides (CFD).**

## 2.1 Introduction

Le Chapitre 2 présente en détail l'approche CFD que nous avons appliqué pour la simulation de l'écoulement {Applications de (CFD), La stratégie de (CFD), Maillage, Avantages de (CFD)}. Après avoir rappelé les équations de base ainsi que les diverses modélisations possibles, nous présenterons quelque modèles de turbulence.

## 2.2 Mécanique des fluides numérique

La mécanique des fluides numérique (MFN), plus souvent désignée par le terme anglais {Computational Fluid Dynamics (CFD)}, consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. En fonction des approximations choisies, qui sont en général le résultat d'un compromis en termes de besoins de représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations (d'Euler), les équations de (Navier-Stokes), etc. [44]

La mécanique des fluides est un domaine de la physique dédié à l'étude du comportement des fluides (liquides, gaz et plasmas) et des forces internes associées. C'est une branche de la mécanique des milieux continus qui modélise la matière à l'aide de particules assez petites pour relever de l'analyse mathématique mais assez grandes par rapport aux molécules pour être décrites par des fonctions continues. [46]

## 2.3 Historique

La (MFN) « mécanique des fluides numérique » a grandi d'une curiosité mathématique pour devenir un outil essentiel dans pratiquement toutes les branches de la dynamique des fluides, de la propulsion aérospatiale aux prédictions météorologiques en passant par le dessin des coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est l'objet d'un effort important, car elle permet l'accès à toutes les informations instantanées (vitesse, pression, concentration) pour chaque point du domaine de calcul, pour un coût global généralement modique par rapport aux expériences correspondantes. [45]

Elle se divise en deux parties, la statique des fluides qui est l'étude des fluides au repos et la dynamique des fluides, qui est l'étude des fluides en mouvement.

Aujourd'hui, la dynamique des fluides est un domaine actif de la recherche avec de nombreux problèmes non résolus ou partiellement résolus. Elle utilise systématiquement des méthodes numériques appelées « mécanique des fluides numérique » (MFN), ou en anglais {Computational Fluid Dynamics} (CFD). [47]

## **2.4 Méthodes de discrétisation :**

### **2.4.1 Méthode des différences finies**

En analyse numérique, la méthode des différences finies est une technique courante de recherche de solutions approchées d'équations aux dérivées partielles qui consiste à résoudre un système de relations (schéma numérique) liant les valeurs des fonctions inconnues en certains points suffisamment proches l'un de l'autre.

En apparence, cette méthode apparaît comme étant la plus simple à mettre en œuvre car elle procède en deux étapes : d'une part la discrétisation par différences finies des opérateurs de (dérivation/différentiation), d'autre part la convergence du schéma numérique ainsi obtenu lorsque la distance entre les points diminue. [48]

### **2.4.2 Méthode des volumes finis**

En analyse numérique, la méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles, comme la méthode des différences finies et celle des éléments finis.

Contrairement à la méthode des différences finies qui met en jeu des approximations des dérivées, les méthodes des volumes finis et des éléments finis exploitent des approximations d'intégrales. Toutefois, la méthode des volumes finis se base directement sur la forme dite forte de l'équation à résoudre, alors que la méthode des éléments finis se fonde sur une formulation variationnelle de l'équation.

L'équation aux dérivées partielles est résolue de manière approchée à l'aide d'un maillage constitué de volumes finis qui sont des petits volumes disjoints (en 3D, des surfaces en 2D, des segments en 1D) dont la réunion constitue le domaine d'étude. Les volumes finis peuvent être construits autour de points d'un maillage initial. [48]

Les méthodes de volumes finis ont été initialement mises au point pour des lois de conservation hyperbolique, mais des développements récents permettent à présent de les utiliser pour des équations elliptiques et paraboliques.

Ces équations aux dérivées partielles contiennent des termes de divergence. En utilisant le théorème de flux-divergence, les intégrales de volume d'un terme de divergence sont transformées en intégrales de surface et ces termes de flux sont ensuite évalués aux interfaces entre les volumes finis. On utilise une fonction de flux numérique pour élaborer une approximation des flux aux interfaces. Puisque le flux entrant dans un volume donné est égal au flux sortant du volume

adjacent, ces méthodes sont conservatives, donc parfaitement adaptées à la résolution de lois de conservation.

Un autre avantage de la méthode des volumes finis est qu'elle est facilement utilisable avec des maillages non-structurés car, en matière de discrétisation des lois de conservation, sa formulation ne tient aucun compte de la complexité du maillage. En revanche, les caractéristiques géométriques du maillage peuvent jouer un rôle prépondérant lorsque des flux diffusifs entrent en jeu. [48]

### **2.4.3 Méthode des éléments finis**

La méthode des éléments finis fait partie des outils de mathématiques appliquées. Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (ou EDP) sur un domaine compact. On parle couramment de conditions de type Dirichlet (valeurs aux bords) ou Neumann (gradients aux bords) ou de Robin (relation gradient/valeurs de bord).

Il s'agit donc avant tout de la résolution approchée d'un problème, où, grâce à la formulation variationnelle, les solutions du problème vérifient des conditions d'existence plus faibles que celles des solutions du problème de départ et où une discrétisation permet de trouver une solution approchée. Comme de nombreuses autres méthodes numériques, outre l'algorithme de résolution en soi, se posent les questions de qualité de la discrétisation.

- Existence de solutions.
- Unicité de la solution.
- Stabilité.
- Convergence.

Et bien sûr : mesure d'erreur entre une solution discrète et une solution unique du problème initial. [48]

## **2.5 LE CFD**

### **2.5.1 Qu'est-ce que la dynamique des fluides computationnelle(CFD)?**

- La dynamique des fluides computationnelle (CFD) est la science de la prédiction écoulement de fluide, transfert de chaleur, transfert de masse, réactions chimiques et phénomènes connexes en résolvant les équations mathématiques qui régissent ces processus en utilisant un processus numérique.

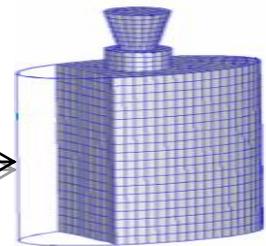
- Le résultat des analyses (CFD) est les données d'ingénierie pertinentes utilisées dans:

- Études conceptuelles de nouveaux modèles.
  - Développement de produit détaillé.
  - Dépannage.
  - Refonte.
- L'analyse (CFD) complète les tests et l'expérimentation.

- Réduit l'effort total requis dans le laboratoire. [49]

### 2.5.2 (CFD) - comment ça marche

- ❖ L'analyse commence par un calcul mathématique modèle d'un problème physique.
- ❖ Conservation de la matière, et l'énergie doit être satisfaite dans toute la région d'intérêt.
- ❖ Les propriétés des fluides sont modélisées empiriquement.
- ❖ Des hypothèses simplificatrices sont faites afin de rendre le problème traitable (par exemple, en régime permanent, incompressible, non-viscose, bidimensionnel).
- ❖ Fournir des informations initiales et conditions aux limites du problème
- ❖ Applique des méthodes numériques (appelées Discrétisation) pour développer des approximations de les équations régissant de la mécanique des fluides dans la région d'intérêt du fluide.
- La collection de cellules s'appelle la grille.
- Equations différentielles gouvernantes: algébriques.



**Fig. 4 - Maille pour le problème De remplissage de bouteille. [50]**

- L'ensemble des équations algébriques sont résolues Numériquement (sur un ordinateur) pour le champ de flux variables à chaque nœud ou cellule.
- Le système d'équations est résolu simultanément pour fournir une solution.
- La solution est post-traitée pour extraire quantités d'intérêt (par exemple, portance, traînée, couple, transfert de chaleur, séparation, perte de pression, etc.).[50]

### 2.5.3 Le besoin de (CFD)

Appliquer les lois fondamentales de la mécanique à un fluide donne les équations qui gouvernent le fluide. La conservation de l'équation de masse est:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

Et la conservation de l'équation de quantité de mouvement est:

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\nabla p + \rho \vec{g} + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (2)$$

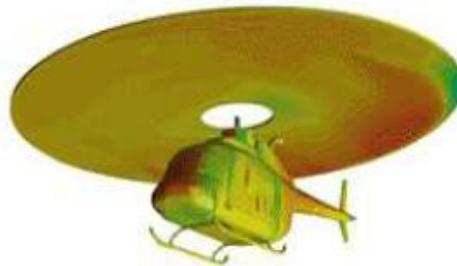
Ces équations avec l'équation de conservation de l'énergie forment un ensemble d'équations différentielles partielles non linéaires couplées. Il n'est pas possible de résoudre ces équations analytiquement pour la plupart des problèmes d'ingénierie.

Cependant, il est possible d'obtenir des solutions informatiques approximatives aux équations directrices pour une variété de problèmes d'ingénierie. C'est le sujet de Computational Fluid Dynamics (CFD). [50]

#### 2.5.4 Applications de (CFD)

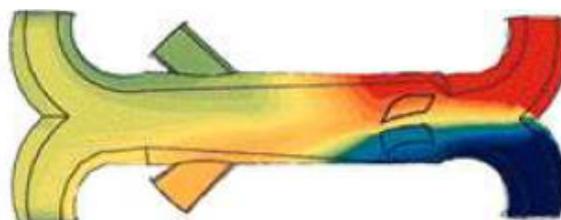
(CFD) est utile dans une grande variété d'applications et nous en noterons ici quelques-unes pour vous donner une idée de son utilisation dans l'industrie. Les simulations ci-dessous ont été réalisées à l'aide du logiciel (FLUENT). **Fig. 4. 5 et 6.**

(CFD) peut être utilisé pour simuler le flux sur un véhicule. Par exemple, il peut être utilisé pour étudier l'interaction des hélices ou des rotors avec le fuselage de l'aéronef. La figure suivante montre la prédiction du champ de pression induite par l'interaction du rotor avec un fuselage d'hélicoptère en vol. Les rotors et les hélices peuvent être représentés avec des modèles de complexité variable.



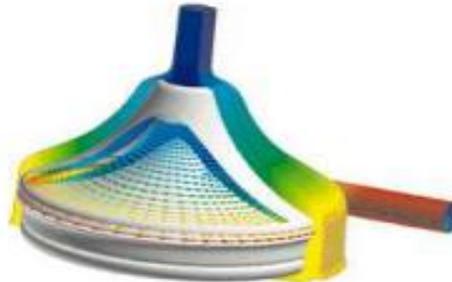
**Fig. 5 - Champ de pression obtenue à partir d'une analyse (Les rotors et les hélices) [50]**

La distribution de température obtenue à partir d'une analyse (CFD) d'un collecteur de mélange est présentée ci-dessous. Ce collecteur de mélange fait partie du système de ventilation de la cabine des passagers du (Boeing 767). L'analyse (CFD) a montré l'efficacité d'une conception de collecteur plus simple sans avoir besoin de tests sur le terrain.



**Fig. 6 - La distribution de température obtenue à partir d'une analyse (collecteur) [50]**

L'ingénierie biomédicale est un domaine en pleine croissance et utilise la (CFD) pour étudier les systèmes circulatoire et respiratoire. La figure suivante montre des contours de pression et une vue en coupe qui révèle des vecteurs de vitesse dans une pompe à sang qui assume le rôle du cœur dans la chirurgie à cœur ouvert.



**Fig. 7 - Vecteurs de vitesse dans une pompe à sang [50]**

La (CFD) est attrayant pour l'industrie car elle est plus rentable que les tests physiques. Cependant, il faut noter que les simulations de flux complexes sont difficiles et sujettes aux erreurs et qu'il faut beaucoup d'expertise en ingénierie pour obtenir des solutions validées. [50]

### **2.5.5 La stratégie de (CFD)**

Globalement, la stratégie de (CFD) consiste à remplacer le domaine de problème continu par un domaine discret utilisant une grille. Dans le domaine continu, chaque variable de flux est définie à chaque point du domaine. Par exemple, la pression ( $p$ ) dans le domaine continu (1-D) montré dans la figure ci-dessous serait donnée comme.

$$P = P(x), 0 < x < 1$$

Dans le domaine discret, chaque variable de flux est définie uniquement aux points de la grille. Ainsi, dans le domaine discret indiqué ci-dessous, la pression ne serait définie qu'aux ( $N$ ) points de la grille. [50]

$$P_i = P(x_i), i = 1, 2, \dots, N+$$

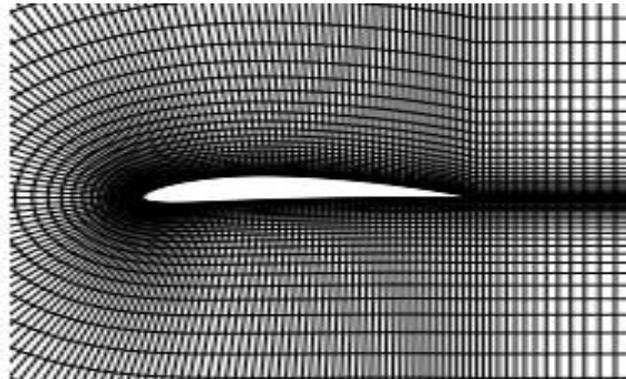
### **2.6 Discret de domaine et Domaine Continuer**

Dans une solution (CFD), on ne peut résoudre directement les variables de flux pertinentes qu'aux points de la grille. Les valeurs d'autres emplacements sont déterminées en interpolant les valeurs aux points de la grille.

Les équations différentielles partielles et les conditions aux limites sont définies en fonction des variables continues ( $P$ ), ( $V$ ) etc. On peut les approximer dans le domaine discret en fonction des

variables discrètes ( $p_i$ ), ( $v_i$ ) etc. Le système discret est un grand ensemble des équations algébriques couplées dans les variables discrètes. Mettre en place le système discret et le résoudre (qui est un problème d'inversion de matrice) implique un très grand nombre de calculs répétitifs, une tâche que nous, les humains, transmettons à l'ordinateur numérique.

Cette idée peut être étendue à n'importe quel domaine de problème général. La figure suivante montre la grille utilisée pour résoudre le flux sur un profil aérodynamique. Nous examinerons de plus près cette grille aérodynamique **Fig. 8.** - [50]



**Fig. 8** - la grille utilisée pour résoudre le flux sur un profil aérodynamique [50].

## 2.7 Discrétisation utilisant la méthode du volume fini

Si vous regardez attentivement la grille d'aérodynamisme montrée précédemment, vous verrez qu'elle est composée de quadrilatères. Dans la méthode du volume fini, un tel quadrilatère est communément appelé une "cellule" et un point de la grille comme un "nœud". En (2-D), on pourrait aussi avoir des cellules triangulaires. En (3-D), les cellules sont généralement des hexaèdres, des tétraèdres ou des prismes. Dans l'approche à volume fini, la forme intégrale des équations de conservation est appliquée au volume de contrôle défini par une cellule pour obtenir les équations discrètes pour la cellule. La forme intégrale de l'équation de continuité pour un écoulement constant et incompressible est l'intégration sur la surface ( $S$ ) du volume de contrôle et ( $\hat{n}$ ) est la normale vers l'extérieur.

$$\int_S \vec{V} \cdot \hat{n} dS = 0 \quad (3)$$

Considérez la cellule rectangulaire illustrée ci-dessous. **Fig. 9**

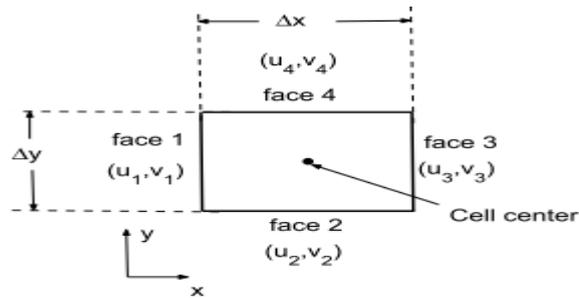
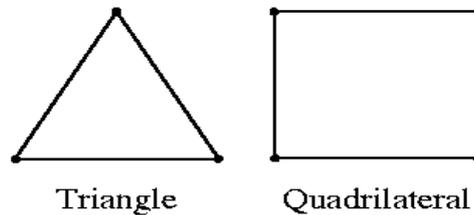


Fig. 9- Discrétisation utilisant la méthode du volume fini [50]

## 2.8 Concevoir et créer la grille

- Si vous utilisez une grille (quad / hexa), une grille (tri / têt), une grille hybride ou une grille non conforme?
- Quel degré de résolution de grille est requis dans chaque région du domaine?
- Combien de cellules sont nécessaires pour le problème?
- Utiliserez-vous l'adaptation pour ajouter une résolution?
- Avez-vous une mémoire d'ordinateur suffisante? [51]

### 2D Cell Types



### 3D Cell Types

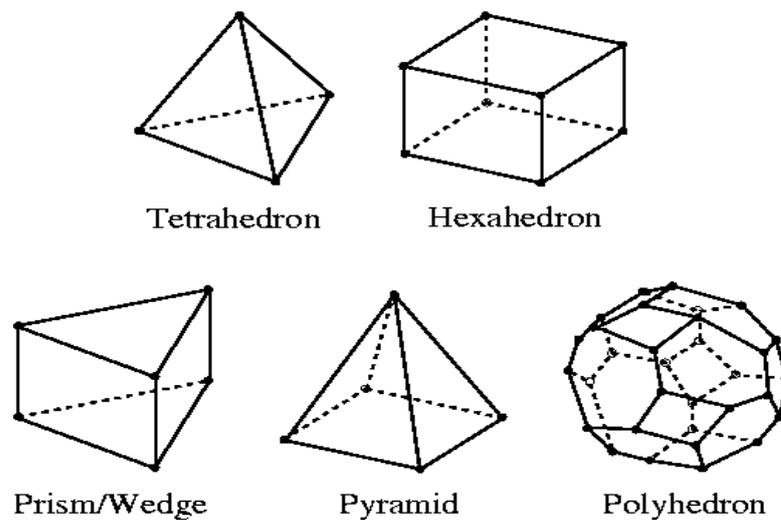
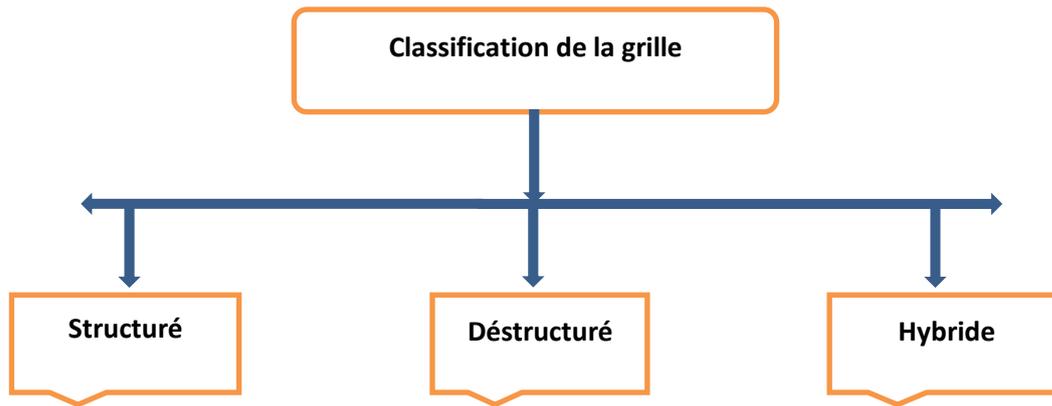


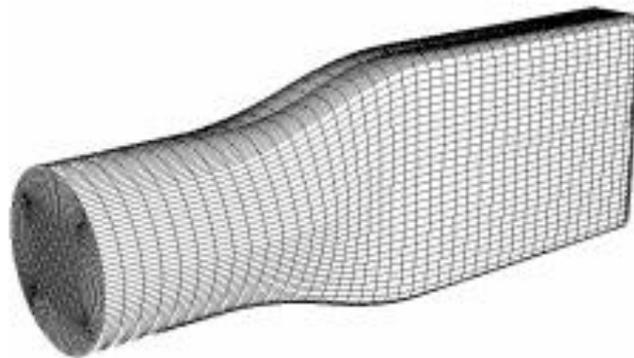
Fig. 10- Types de cellules [52]



**Fig. 11- Classification de la grille**

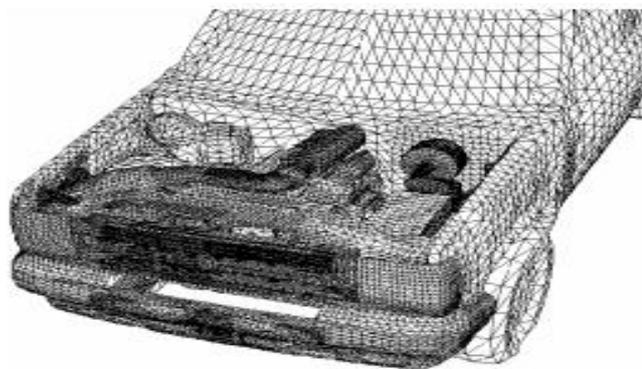
### 2.8.1 Maillage (tri / têt) et (Quad / hexa)

- ❖ Pour les géométries simples, (quad / hexa) les mailles peuvent fournir de haute qualité des solutions avec moins de cellules qu'un treillis (tri / têt) comparables. [51]



**Fig. 12- Maille de surface pour une grille  
Contenant uniquement des quadrilatéral [51]**

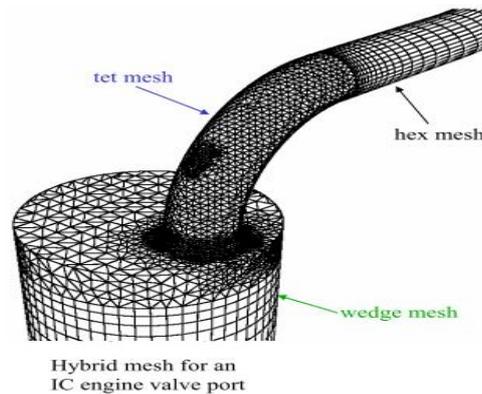
- ❖ Pour les géométries complexes, les maillages (quad / hexa) ne montrent pas avantage numérique, et vous peut sauver l'effort de maillage en utilisant un maillage (tri / têt). [51]



**Fig. 13- Maille de surface pour une grille  
Contenant uniquement des tétraèdres [51]**

## 2.8.2 Exemple de maillage hybride

- Grille de port de vanne.
- Les régions spécifiques peuvent être maillées Avec différents types de cellules.
- L'efficacité et la précision sont améliorées Par rapport à un maillage hexaèdre ou tétraédrique Seul. [51]



**Fig.14- Maille hybride pour un portDe soupape de moteur IC [51]**

## 2.9 Mettre en place le modèle numérique

Pour un problème donné, vous devrez:

- Sélectionnez les modèles physiques appropriés.
- Turbulence, combustion, multi phase, etc.
- Définir les propriétés du matériau.
- Fluide.
- Solide.
- Mélange.
  - Prescrire les conditions d'exploitation.
  - Prescrire des conditions aux limites à toutes les zones frontières.
  - Fournir une solution initiale.
  - Configurer les contrôles du solveur.
  - Mettre en place des moniteurs de convergence. [51]

### 2.9.1 Calculer la solution

- Les équations de conservation discrétisées sont résolues itérativement. Un certain nombre d'itérations sont généralement nécessaires pour atteindre une convergence Solution.
- La convergence est atteinte lorsque:

- Les changements dans les variables de solution d'une itération à l'autre sont négligeables.
- Les résidus fournissent un mécanisme pour aider à suivre cette tendance.
- La conservation globale de la propriété est réalisée.
- La précision d'une solution convergée dépend de:
  - L'adéquation et l'exactitude des modèles physiques.
  - Résolution de grille et indépendance.
  - Problème de configuration. [51]

### **2.9.2 Examiner les résultats**

- La visualisation peut être utilisée pour répondre à des questions telles que:
  - Quel est le schéma d'écoulement global?
  - Y a-t-il une séparation?
  - Où se forment les chocs, les couches de cisaillement, etc.
  - Les fonctionnalités de flux de clés sont-elles résolues?
  - Les modèles physiques et les conditions aux limites sont-ils appropriés?
  - Des outils de reportant numériques peuvent être utilisés pour calculer quantitativement résultats,

Par exemple:

- Soulevez, faites glisser et couplez.
- Coefficients de transfert de chaleur moyens.
- Les quantités moyennées en surface. [51]

### **2.9.3 Outils pour examiner les résultats**

- Outils graphiques:
  - Tracés de grille, de contour et de vecteur.
  - Tracés de trajectoire et de trajectoire des particules.
  - Parcelles (XY).
  - Animations.
- Outils de reportant numérique:
  - Soldes de flux.
  - Intégrales et moyennes de surface et de volume.
  - Forces et moments. [51]

### **2.9.4 Envisager des révisions au modèle**

- Les modèles physiques sont-ils appropriés?
  - Le flux est-il turbulent?
  - Le flux est-il instable?
  - Y a-t-il des effets de compressibilité?
  - Y a-t-il des effets (3-D)?
  - Les conditions aux limites sont-elles correctes?
- Le domaine de calcul est-il assez grand?
  - Les conditions aux limites sont-elles appropriées?
  - Les limites sont-elles raisonnables?
- La grille est-elle adéquate?
  - La grille peut-elle être adaptée pour améliorer les résultats?
  - La solution change-t-elle de manière significative avec l'adaptation, ou est la solution grille indépendante?
  - La résolution des limites doit-elle être améliorée? [51]

## 2.10 Avantages de (CFD)

- Coût relativement faible.
  - En utilisant des expériences physiques et des tests pour obtenir l'ingénierie essentielle Les données pour la conception peuvent être coûteuses.
  - Les simulations (CFD) sont relativement peu coûteuses, et les coûts sont susceptibles de Diminuer à mesure que les ordinateurs deviennent plus puissants.
- La vitesse.
  - Les simulations (CFD) peuvent être exécutées dans un court laps de temps.
  - La rapidité d'exécution signifie que les données d'ingénierie peuvent être introduites au début du processus de conception.
- Possibilité de simuler des conditions réelles.
  - De nombreux processus de transfert de chaleur et de flux ne peuvent pas être (facilement) testés, Par exemple. Écoulement hypersonique.
  - (CFD) fournit la possibilité de simuler théoriquement toute physique condition.
- Capacité à simuler des conditions idéales.
  - (CFD) permet un grand contrôle sur le processus physique, et fournit le Pouvoir isoler des phénomènes spécifiques pour étude.
  - Exemple: un processus de transfert de chaleur peut être idéalisé avec adiabatique, Flux de chaleur constant, ou limites de température constante.

- Information compréhensible :

- - Les expériences permettent seulement d'extraire des données sur un nombre limité d'Endroits dans le système (par exemple, sondes de pression et de température, Débitmètres, etc.).
- (CFD) permet à l'analyste d'examiner un grand nombre d'emplacements dans le Région d'intérêt, et fournit un ensemble complet de paramètres de débit pour examen. [51]

## 2.11 Limites de (CFD)

- Modèles physiques.

- Les solutions (CFD) reposent sur des modèles physiques de processus réels (Par exemple turbulence, compressibilité, chimie, écoulement multiphasique, etc.)
- Les solutions (CFD) ne peuvent être aussi précises que les modèles physiques sur lequel ils sont basés.

- Erreurs numériques.

- Résoudre des équations sur un ordinateur introduit invariablement numérique les erreurs.
- Erreur d'arrondi: en raison de la taille des mots finie disponible sur l'ordinateur. Les erreurs d'arrondi existeront toujours (bien qu'elles puissent être petites dans la plupart cas).
- Erreur de troncature: due à des approximations dans les modèles numériques.
- Les erreurs de troncature iront à zéro lorsque la grille sera affinée. Engrener le raffinement est une façon de gérer les erreurs de troncature. [51]

- Conditions aux limites.

- Comme pour les modèles physiques, la précision de la solution (CFD) est seulement Bien que les conditions initiales / limites fournies à la numérique modèle. [6]

## 2.12 Les modèles

### 2.12.1 Les modèles classiques

- Modèle à zéro équation (mixinglength model).
- Modèle à une équation.
- Modèle à deux équations (k- $\epsilon$  model).
- Modèle des tenseurs de Reynolds (R S M).
- Modèle algébrique (A S M). [52]

### 2.12.2 Les modèles de simulation

- Simulation numérique directe ou (Direct Numerical Simulation) (D N S).

- Simulation des grandes échelles ou (Large Eddy Simulation Model) (L E S).
- Simulation des échelles urbaine (Reynolds Average Navier Stocks Equations) (RANS).

Ce sont les principales méthodes de simulation qu'on peut appliquer dans le cas des écoulements Dans les rues. [53]

### 2.13 Définition de la turbulence

La turbulence est une propriété d'un écoulement, non du fluide utilisé. Il n'existe pas de véritable définition de la turbulence car il est difficile de définir la turbulence par des critères simples. On la caractérise par ses propriétés.

La turbulence apparaît lorsque la source d'énergie qui met le fluide en mouvement est suffisamment intense devant les effets visqueux que le fluide oppose pour se déplacer. Une possibilité consiste à qualifier un écoulement de turbulent dès que le champ de vitesse présente un caractère chaotique (absence de toute périodicité) dans l'espace ou le temps.

Mais il existe des écoulements "déterministes" qui présentent des caractères chaotiques, comme ceux dans les turbomachines. Le caractère aléatoire de l'écoulement n'est qu'une des facettes de la turbulence. Il impose de traiter les écoulements turbulents par des méthodes statistiques. Quand l'écoulement est turbulent, les grandeurs physiques macroscopiques (vitesse, pression) varient de façon rapide et aléatoire. [53]

#### 2.13.1 La simulation numérique directe – Direct numerical simulation (DNS)

La DNS est une solution numérique des équations tridimensionnelles instationnaires de Navier-Stokes, obtenue sans aucune modélisation préalable. Le terme « direct » fait référence au fait que toutes les échelles de temps et d'espace de l'écoulement sont simulées. L'obtention des données statistiques sur l'écoulement est du coup reportée après résolution. C'est cette méthode qui sera utilisée pour simuler les écoulements dans ce travail.

##### ❖ Avantages

Informations très détaillées (champ de vitesse, pression, ...) en chaque point du domaine et à chaque instant désignant la DNS telle une véritable expérience numérique.

Le DNS peut être utilisé pour comprendre les mécanismes de production turbulente et de dissipation.

##### ❖ Défauts

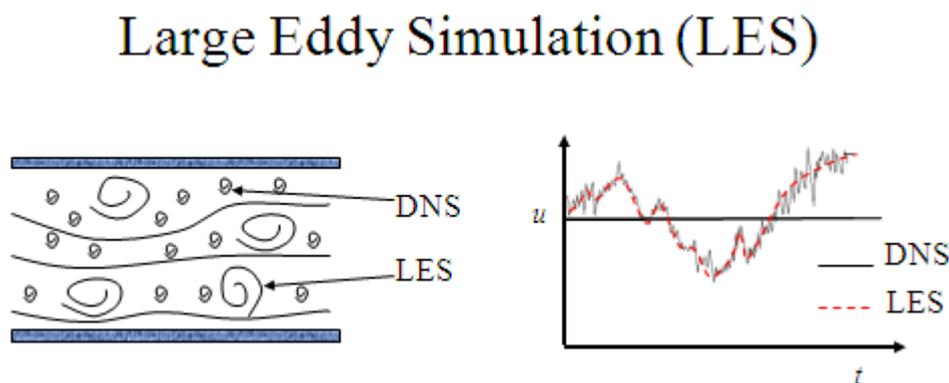
Utilisation limitée à des géométries relativement simples et des nombres de

Reynolds modérés. Temps de calcul très long.

Nécessite des superordinateurs. [71]. [54]

### 2.13.2 La simulation des grandes échelles (LES)

Afin de pallier aux contraintes imposées par la méthode de calcul directe DNS par réduction du nombre de points de discrétisation, une approche (LES) est utilisée. Elle est basée sur une technique de filtrage permettant la séparation de variables du champ d'écoulement, seules les plus grandes échelles de mouvement sont résolues alors que l'action des petites échelles est représenté par un modèle sous-maille. Les équations issues du filtrage sont appelées « équations filtrées de Navier Stokes ». [54]



**Fig. 15 -Diagramme Démontre la différence entre (DNS) et (LES).**

- ✓ LES est une simulation tridimensionnelle, dépendante du temps et coûteuse en calcul, mais moins coûteuse que le DNS.
- ✓ LES résout les mouvements à grande échelle et modélise les mouvements à petite échelle du flux turbulent.
- ✓ La prémisse de LES est que les mouvements à grande échelle ou tourbillons contiennent la plus grande fraction d'énergie dans le flux responsable du transport des propriétés conservées tandis que le petit.
- ✓ Les composants à grande échelle du champ d'écoulement sont filtrés à partir des composants à petite échelle en utilisant un critère de longueur d'onde lié à la taille des tourbillons [72]

### 2.13.3 Approche RANS (Reynolds Average Navier Stocks)

Cette approche introduite dans le chapitre précédent pour décrire l'écoulement dans la couche de surface urbaine est appelée aussi approche statistique de Reynolds et consiste à ne s'intéresser qu'aux caractéristiques moyennes de l'écoulement. Elle repose sur la décomposition des variables en une valeur moyenne et une valeur fluctuante.[54]

## 2.14 Equations fondamentales de la dynamique des fluides

Le modèle de turbulence  $k-\omega$  est utilisé dans un canyon urbain et la modélisation de CFD est basée sur la résolution numérique des équations gouvernant l'écoulement et la dispersion, qui sont dérivées des principales équations de base de conservation et de transport : l'équation de conservation de masse (continuité), les deux équations de mouvement (Navier-Stokes) selon  $x$ ,  $y$ , et l'équation de transport pour la concentration de polluant. L'air au sein de la gorge de rue est considéré comme un écoulement turbulent inerte incompressible, et la densité du polluant et de l'air sont supposés constants dans la couche atmosphérique la plus basse selon SINI [55].

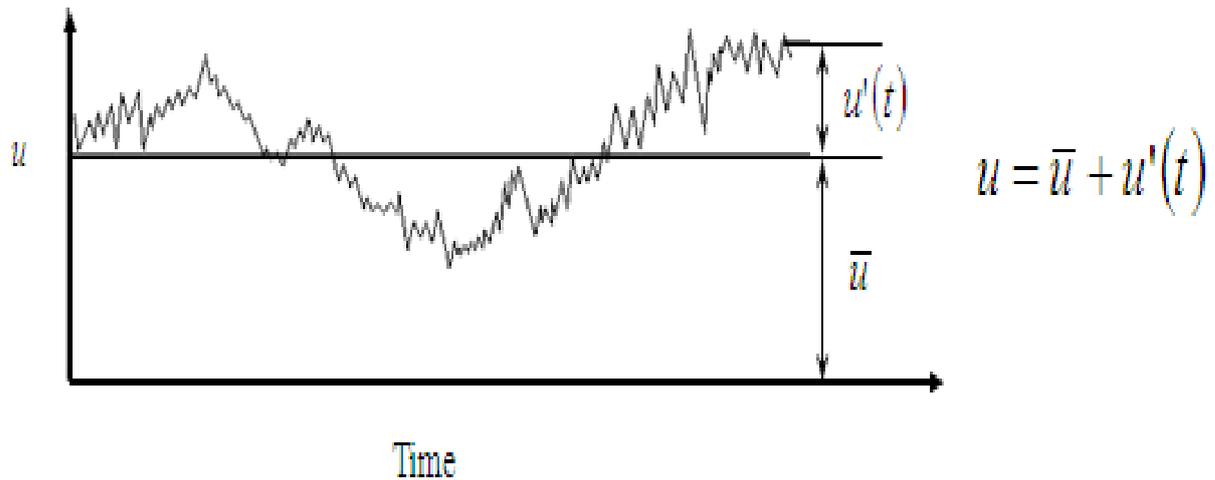
La version SST (en anglais : Shear Stress Transport) du modèle proposée par Menter[56] est également testée sur les deux géométries, les équations liées à cette modélisation sont représentées au chapitre IV de ce rapport. Le but de l'utilisation de ce modèle est de voir si cette version de modèle, rarement appliquée à notre connaissance à la simulation des écoulements cavitants, apporte une amélioration significative en ce qui concerne le comportement instationnaire périodique de la poche de cavitation. L'application de la correction de Reboud au modèle est incluse dans notre étude et les simulations sont réalisées sur les deux types de géométries citées précédemment. [55].

Finalement, le modèle RSM, appartenant à la catégorie des modèles dits de second ordre, est testé dans cette étude. L'intérêt de ce modèle par rapport aux modèles du premier ordre est qu'il permet de s'affranchir d'une relation locale entre les tensions de Reynolds et l'écoulement moyen. Ce modèle a donc la particularité de mieux prendre en compte les effets d'anisotropie de la turbulence. La version SSG (SpezialeSarkar et Gatski) de ce modèle proposée

par Speziale et al. [57]

## 2.15 Propriétés de la turbulence

- ❖ La plupart des flux rencontrés dans les processus industriels sont turbulents.
- ❖ Les écoulements turbulents présentent un mouvement tridimensionnel, instationnaire, aperiodique.
- ❖ La turbulence augmente le mélange de la quantité de mouvement, de la chaleur et des espèces.
- ❖ Le mélange de turbulence agit pour dissiper la quantité de mouvement et l'énergie cinétique dans le flux en agissant sur la viscosité pour réduire les gradients de vitesse.
- ❖ Les écoulements turbulents contiennent des structures cohérentes qui sont des événements déterministes. [72]



**Fig. 16-Diagramme de la décomposition de Reynolds.**

## 2.16 Le modèle k-Omega SST:

Présentation du modèle

Le deuxième modèle testé dans cette étude est le modèle (en anglais : Shear Stress Transport) proposé par Menter[56]. C'est une approche qui vise à combiner les avantages respectifs des deux modèles et. Le second est activé à proximité des parois alors que le premier est appliqué dans le reste de l'écoulement. Le modèle est en effet basé sur l'hypothèse que la quantité est proportionnelle à la composante normale de l'énergie cinétique turbulente dans la zone des sous-couches visqueuse ce qui permet d'avoir un très bon accord avec l'expérience et les résultats DNS dans cette zone.[54]

## 2.17 Modélisation mathématique

La formulation mathématique du problème étudié sera présentée en commençant par:

### 2.17.1 k-Omega SST model

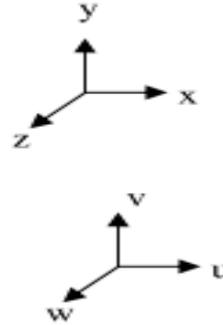
La performance supérieure de ce modèle a été démontrée dans un grand nombre d'études de validation (Bardina et al. [73]).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( B_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_K - Y_K + S_K \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho w u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( B_w \frac{\partial w}{\partial x_j} \right) + G_w - Y_w + S_w \quad (6)$$

Avec:

- G -terme de production.
- B-terme de diffusivité.
- Y -terme de dissipation.
- S -terme source.



### 2.17.2 Continuité:

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (7)$$

### 2.17.3 Quantité de mouvement dans la direction x:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \quad (8)$$

### 2.17.4 Reynolds Stress Transport Model:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial}{\partial t} + U_k \frac{\partial}{\partial x_k} \right) \overline{u'_i u'_j} = & - \left[ \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon \\ & - c_1 \frac{\varepsilon}{k} \left( \overline{u'_i u'_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right) + (\varphi_{ij}^{(2)} + \varphi_{ji}^{(2)}) + \\ & c_s \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \frac{k}{\varepsilon} \left( \overline{u'_i u'_l} \frac{\partial}{\partial x_l} \overline{u'_j u'_k} + \overline{u'_j u'_l} \frac{\partial}{\partial x_l} \overline{u'_k u'_i} + \overline{u'_k u'_l} \frac{\partial}{\partial x_l} \overline{u'_i u'_j} \right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

## 2.18 Méthodes numériques de simulation

Il existe trois grandes classes de méthodes numériques utilisées dans la simulation numérique en mécanique des fluides à savoir: méthode des éléments finis, méthode des différences finis et méthode des volumes finis. [74]

### 2.18.1 Méthode des éléments finis

Développée à l'origine pour le calcul des structures où elle se montre très puissante dans le traitement des géométries complexes. Elle a par la suite trouvée en la mécanique des fluides un domaine d'application privilégiée. Cette méthode est bien adaptée à une discrétisation à l'aide de maillages non structurés. [74]

#### ❖ Principe général

La méthode des éléments finis permet donc de résoudre de manière discrète une EDP dont on cherche une solution approchée « suffisamment » fiable. De manière générale, cette EDP porte sur

une fonction  $F$ , définie sur un domaine. Elle comporte des conditions aux bords permettant d'assurer existence et unicité d'une solution. [75]

### 2.18.2 Méthode des différences finis

C'est le résultat des travaux de plusieurs mathématiciens du 18<sup>ème</sup> siècle (Euler, Taylor, Leibniz..). La méthode des différences finies consiste à remplacer les dérivées partielles aux points du maillage par des approximations selon le développement de Taylor.

#### ❖ Principe général :

Pour la méthode des différences finies, un maillage est un ensemble de points isolés (appelés nœuds) situés dans le domaine de définition des fonctions assujetties aux équations aux dérivées partielles, une grille sur les seuls nœuds de laquelle sont définies les inconnues correspondant aux valeurs approximatives de ces fonctions.

Une discrétisation des opérateurs différentiels (dérivées premières, secondes, etc. partielles non) peut être obtenue par les formules de Taylor. [75]

### 2.18.3 Méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis consiste à intégrer sur des volumes élémentaires les équations écrites sous forme intégrale. C'est une méthode particulièrement bien adaptée à la discrétisation spatiale des lois de conservation, contrairement aux éléments finis, et est ainsi très utilisée en mécanique des fluides.

Sa mise en œuvre est simple si les volumes élémentaires ou «volumes de contrôle» sont Des rectangles en 2D ou des parallélépipèdes en 3D. Cependant, la méthode des volumes finis Permet d'utiliser des volumes de forme quelconque et donc de traiter des géométries complexes, Contrairement aux différences finies.

De nombreux codes de simulation numérique en mécanique des fluides reposent sur cette méthode, on cite par exemple Fluent, tard, CFX, Fine Turbo, ....etc.

#### ❖ Principe général :

L'équation aux dérivées partielles est résolue de manière approchée à l'aide d'un maillage constitué de volumes finis qui sont des petits (volumes disjoints en 3D, des surfaces en 2D, des segments en 1D) dont la réunion constitue le domaine d'étude. Les volumes finis peuvent être construits autour de points d'un maillage initial, mais ce n'est pas une nécessité.

Les méthodes de volumes finis ont été initialement mises au point pour des lois de conservations hyperboliques, mais des développements récents permettent à présent de les utiliser pour des équations elliptiques et paraboliques. [75]

### **2.19 Approches pour la simulation des écoulements turbulents**

Dans le chapitre (2), nous avons présenté les équations de mouvement régissant les écoulements turbulents dans l'atmosphère. Ce système d'équations fortement non linéaire ne présente pas de solutions analytiques mais il existe néanmoins différentes méthodes numériques qui permettent de modéliser ces écoulements. Dans cette section les principales méthodes de simulation qu'on peut appliquer dans le cas des écoulements dans les rues canyons sont présentées. [54]

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes méthodes numériques et les modèles de turbulence utilisés dans notre étude. Et nous avons pris en considération la modélisation de la turbulence et les équations qui est résoudre de chaque model, et Qu'est-ce que la dynamique des fluides computationnelle (CFD).

- Le (CFD) peut également être utilisé pour des études purement scientifiques, par exemple. Dans les fondamentaux de la turbulence. Ceci est plus fréquent dans les institutions académiques et les laboratoires de recherche gouvernementaux. Les codes sont généralement développés pour étudier spécifiquement un certain problème.

# **Chapitre 3**

## **Etude du cas**

### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, seront décrits la construction de la géométrie du cas étudié (Influence du type et de la qualité du maillage sur les effets aérodynamiques d'un écoulement externe) avec la génération de son maillage (3-D), et présenté aussi les logiciels utilisés dans ce travail, (GMSH), (code de calcul Code \_ Saturne) et (Salomé).

### 3.2 Description du cas et d´détails des calculs

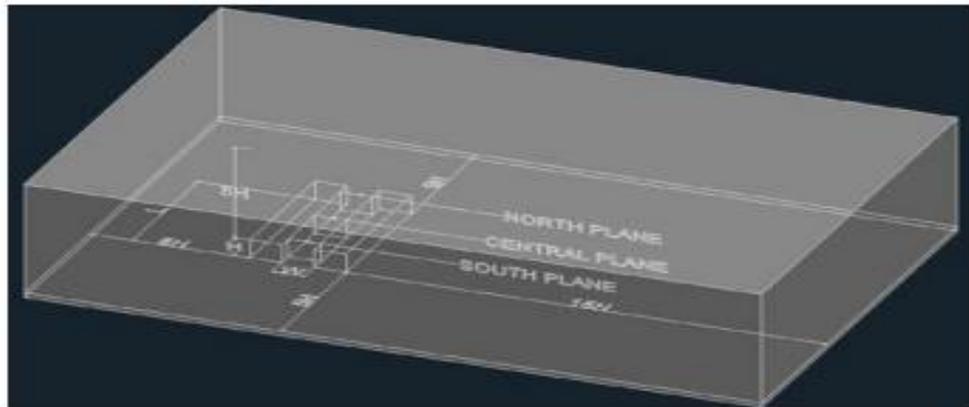


Fig. 17- Domaine de calcul. [58]

Dans ce cas, se présente une étude numérique pour considérant les différentes conditions de vent ambiant, plusieurs simulations ont été réalisées sur un canyon urbain isolé, afin d'évaluer les effets sur le champ d'écoulement. Le canyon urbain analysé a les caractéristiques suivantes:

Il a un rapport d'aspect ( $H / W = 1$ ) et ( $W = L$ ), la largeur et la hauteur des bâtiments sont ( $1H$  m), la largeur de la rue est ( $1H$  m) et la longueur de la rue est ( $6H$  m). Où ( $U_{\text{réf}}$ ) est la vitesse du vent à la hauteur du bâtiment ( $16H$  m), définie comme ( $2 \text{ m / s}$ ).

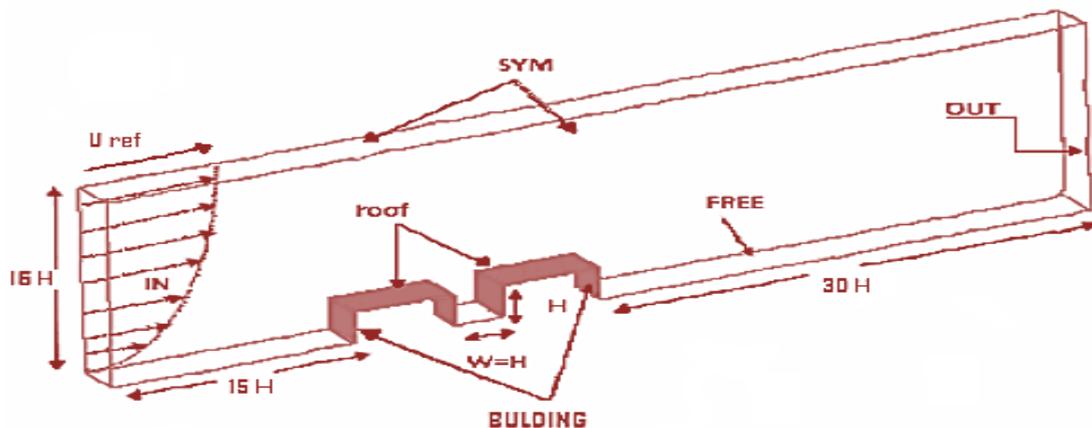
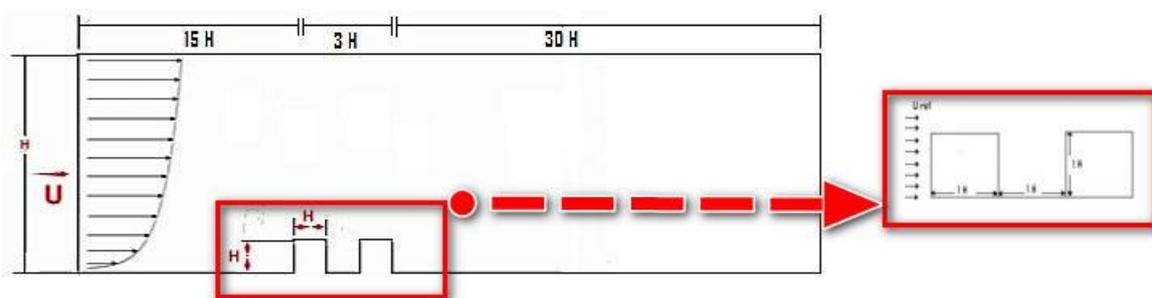


Fig.18 - Domaine de calcul et conditions aux limites pour la configuration de la simulation CFD.

La distance entre l'entrée de soufflage des vents et le côté au vent du premier bâtiment est fixée à  $(15H \text{ m})$  tandis que le mur sous le vent du dernier bâtiment est à  $(30H \text{ m})$  de la limite d'écoulement.

Le domaine de calcul entier à une hauteur de  $(16H \text{ m})$  et la limite supérieure est définie comme une symétrie.

Le flux atmosphérique de fond est simulé sous la forme d'un courant libre entraîné par la pression dans la couche de cisaillement libre seulement. L'écoulement qui se rapproche est perpendiculaire à l'axe de la rue, ce qui se traduit par une vitesse du vent libre ( $U$ ) dans le sens de l'écoulement.



**Fig. 19 - Une section de zoom montrant la forme des bâtiments et la route**

### 3.3 Présentation des logiciels du calcul

Nous avons utilisé plusieurs logiciels pour notre étude et sont les suivants :

- Logiciel de maillage GridMesh ‘GMSH’.
- Le code de calcul (Code \_ Saturne).
- Logiciel (SALOME).

### 3.4 Système d'exploitation (Linux-Ubuntu)

(Prononciation [u.bun.tu], « ou-boun-tou » en français) est un système d'exploitation open source basé sur la distribution Linux(Debian). Son nom provient d'un ancien mot bantou qui signifie « je suis ce que je suis grâce à ce que nous sommes tous ». Dans le même ordre d'esprit, les utilisateurs sont encouragés à étudier son fonctionnement, le modifier, l'améliorer et enfin de le redistribuer. [59]

(En 2011), une estimation donne plus de (25) millions d'utilisateurs des différentes versions pour ordinateurs.

(En 2013), Canonical, la compagnie qui développe (Ubuntu), présente Ubuntu Touche et explique dans une vidéo qu'Ubuntu vise à être disponible pour tout un écosystème incluant les

Télévisions, les Smartphones, et les tablettes. Le gestionnaire de bureau Unité, comme son nom l'indique, vise à unifier l'expérience utilisateur sur chacun des supports.

Linux est ainsi un système multi plate-forme. Il est également multi-utilisateurs (plusieurs personnes peuvent en même temps travailler sur le même ordinateur), mais aussi multi-tâches (plusieurs applications peuvent être lancées en même temps sans qu'aucune n'affecte les autres) et multi-processeurs. [59]

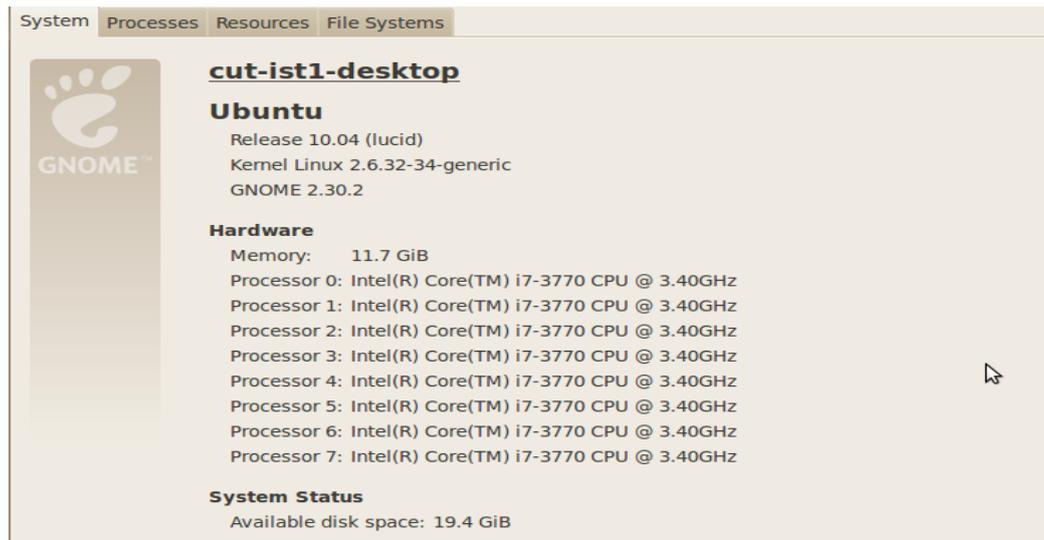


Fig. 20 - version linux [60]

### 3.4.1 Linux Ubuntu (les différentes versions)

Ubuntu se décline en plusieurs versions avec :

**Ubuntu** : standard.

**Edubuntu** : version conçu pour l'éducation.

**Kubuntu**: système d'exploitation qui utilise l'environnement graphique (KDE).

**Xubuntu** : système d'exploitation léger et fonctionnel pour les ordinateurs qui ne bénéficient pas d'une configuration puissante.

**Ubuntu**: mini PC Edition.

**Mythbuntu**: centre multimédia et enregistreur TV.

**Ubuntu studio** : dédié à la création multimédia.

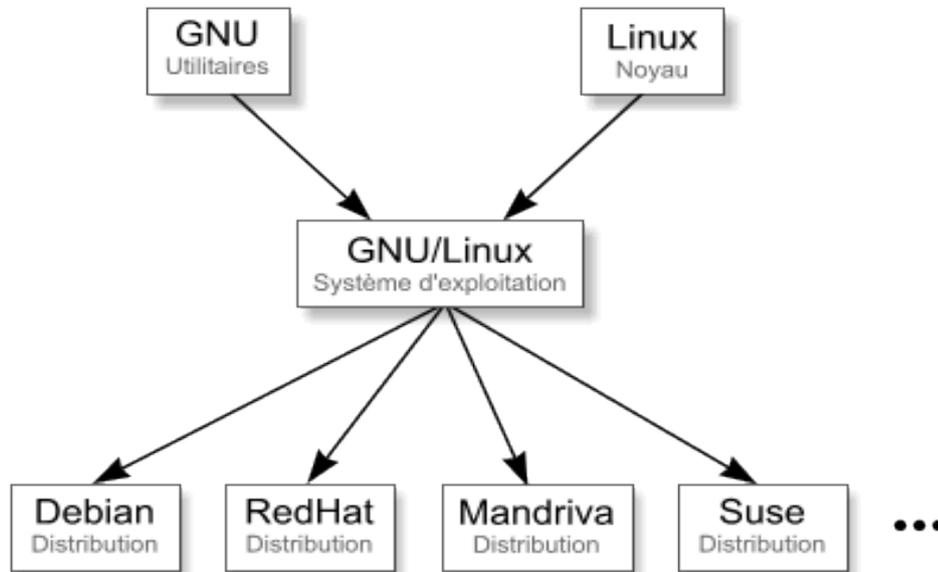
**UbuntuTouch** : destinée aux Smartphones.

Toutes les versions d'Ubuntu sont compatibles entre elles. On distingue aussi deux types de version :

**Version stable** : système d'exploitation avec une prise en charge de (18 mois), avec mises à jour automatiques ;

**Version LTS** : il s'agit d'une version du système d'exploitation (LTS), « Long Term Support » bénéficiant d'une assistance technique étendue à (3 ans). [61]

### 3.4.2 Fonctionnement Linux



**Fig. 21 - système d'exploitation (GNU/LINUX).** [62]

Le système fonctionne comme les autres systèmes d'exploitation; travailler pour gérer tout le matériel lié à votre ordinateur, que ce soit un modèle de bureau ou portable. Linux qui doit gérer la communication entre les composants logiciels et matériels pour rendre votre ordinateur utilisable. Sans un système d'exploitation, tel que Linux, votre ordinateur n'aurait pas de fonctionnalités.

Mais Linux ne fait pas que lancer des ordinateurs personnels. Linux est un système d'exploitation relativement peu connu et à peine utilisé par la majorité du public, mais il gère presque l'intégralité d'Internet, de superordinateurs, de Smartphones, de réfrigérateurs, de dispositifs Rokuet de bourses comme le NYSE. [62]

### 3.4.3 Les distributions

(GNU/Linux) étant gratuit, différentes sociétés l'on repris et complété afin de distribuer un système d'exploitation à leur goût. C'est ce qu'on appelle les distributions.

Parmi les plus connues, { citons RedHat, Fedora, Mandriva, Debian, Suse, Slackware, Gentoo, Xandros, Lycoris }.

Par abus de langage, on dit souvent "Linux" aux lieux de "GNU/Linux" ou du nom de la distribution. [62]

### 3.5 Logiciel de maillage gridmesh “GMSH”

Est un logiciel de maillage par éléments finis développé par (Christophe Geuzaine et Jean-François Remacle), publié sous une licence GPL (avec une licence LGPL pour permettre l'utilisation et la liaison avec des meilleurs externes) et c'est un logiciel libre. (Gmsh) contient (4) modules :

- 1• un module de géométrie.
- 2• un module de maillage.
- 3• un module solveur.
- 4• un module de post-traitement.

Gmsh dispose d'une capacité à prendre en compte des équations paramétriques simples dans son pré-traitement, et d'un système de visualisation efficace dans son mécanisme de post-traitement [63]

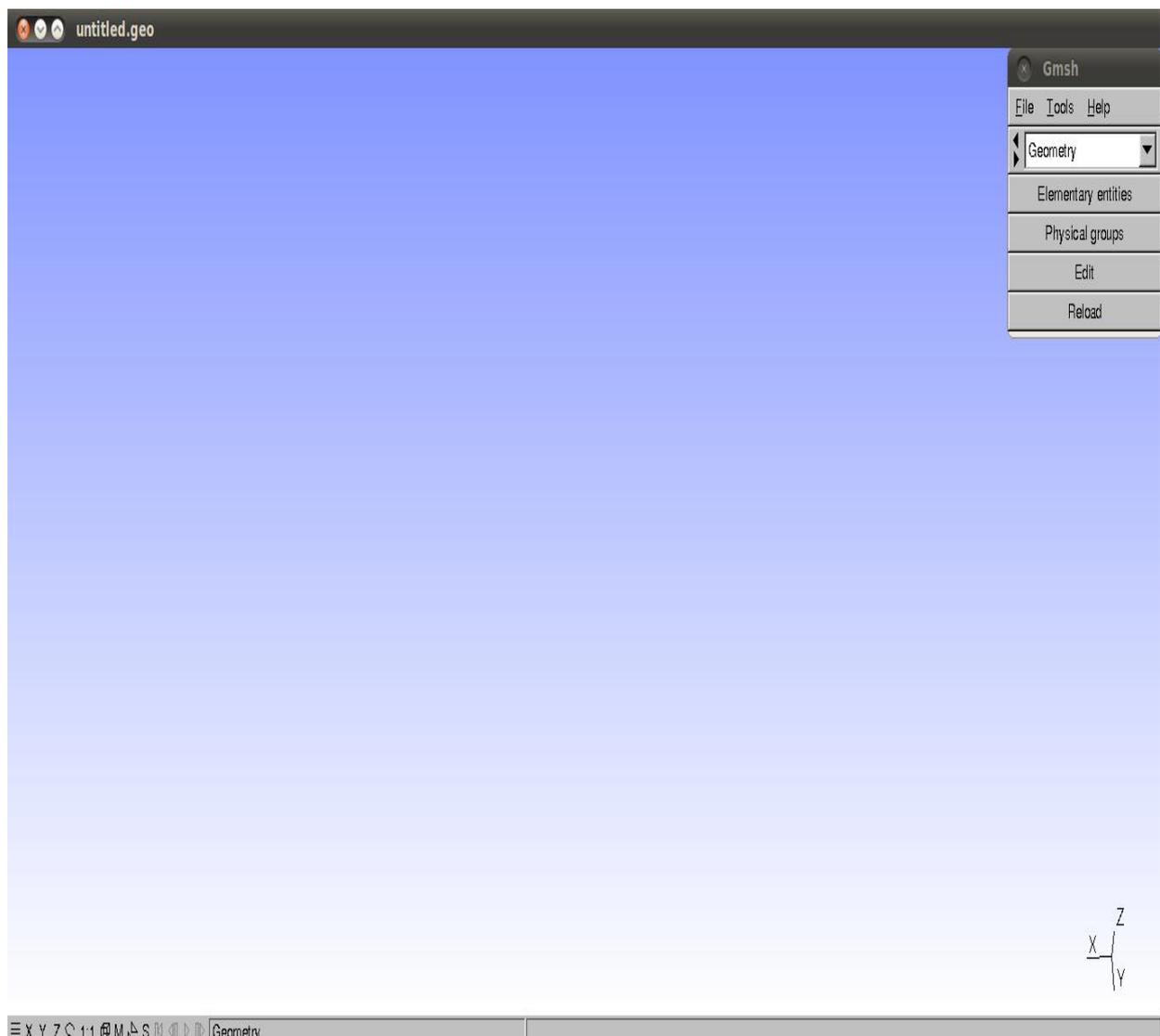


Fig. 22 - version Gmsh

### 3.5.1 Le module géométrie

Le module géométrie (Fig. 23) est disponible sur le menu par la liste de sélection ou le raccourci (g).

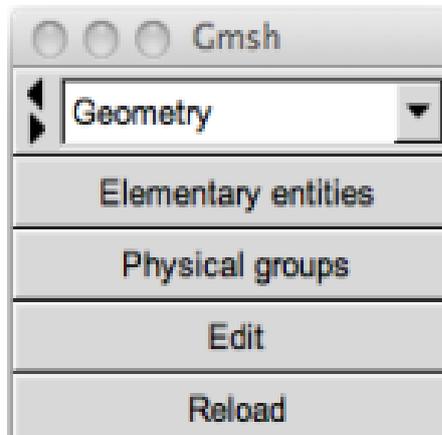


Fig. 23 - Le module géométrie. [64]

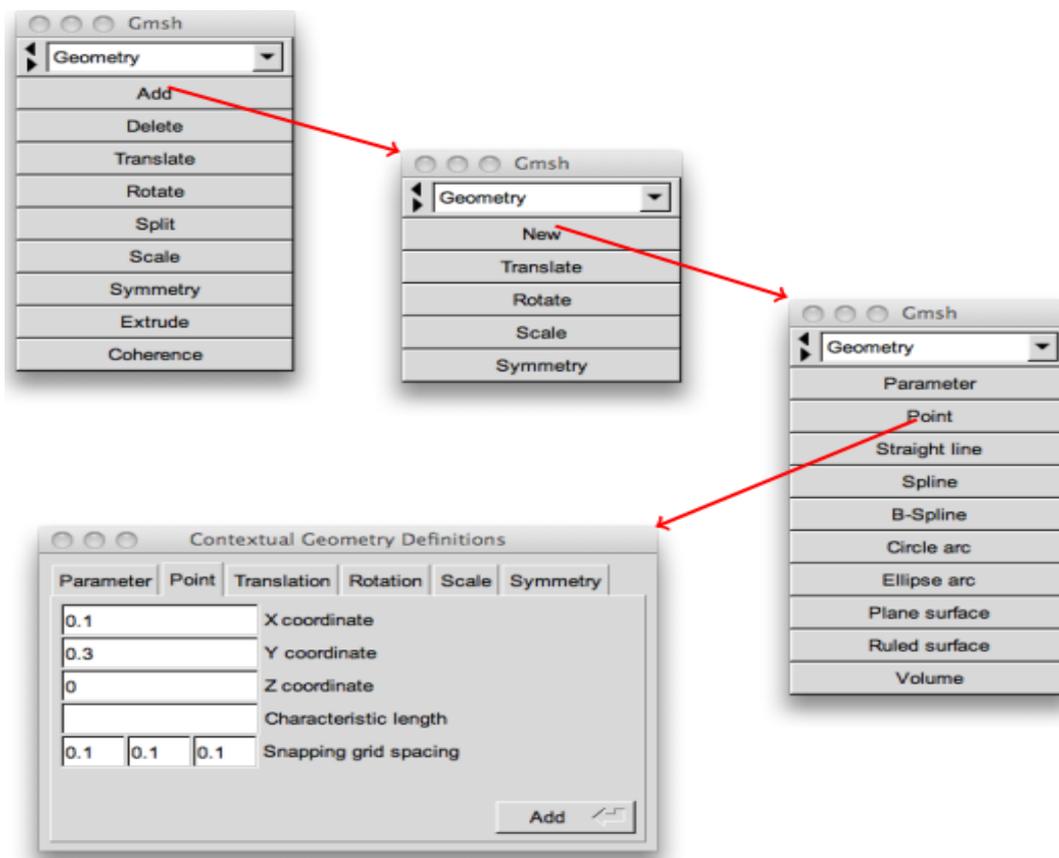


Fig. 24 – Aspect du menu à chaque étape conduisant à la création d'un point par ouverture de la fenêtre contextuelle dédiée. [64]

Sont créés dans un flux ascendant en définissant successivement points, lignes orientées (segments de ligne, les triangles et les tétraèdres), surfaces orientées (raborter les surfaces, les surfaces réglées, les surfaces triangulées,...) et volume. Les groupes composés d'entités géométriques peuvent être définis, basé sur ces entités géométriques élémentaires. Langage de script de (GMSH) permet à toutes les entités géométriques à être entièrement paramétrable. [64]

### 3.5.2 Le module mesh

Une fois la surface géométrique définie, on va générer le maillage. Pour cela, on choisit le module (mesh), soit grâce à la liste de sélection. A partir de ce menu, on va pouvoir mailler les contours, surfaces et volumes en précisant l'ordre d'approximation des éléments finis, effectuer des opérations de partitionnement, de raffinement et d'homogénéisation des mailles. C'est ici également que l'on va sauvegarder le maillage au format (msh). [64]

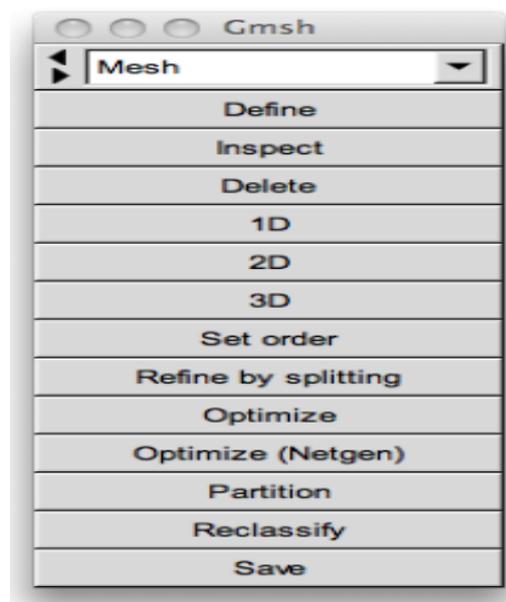


Fig. 25 - Menu du module mesh. [64]

(GMSH) peut être interfacé avec un solveur C++. Pour cela, il suffit d'inclure GmshSocket. H dans le code. 5 solveurs peuvent être interfacés simultanément avec (Gmsh). [64]

### 3.5.3 Le module post-traitement

Comme nous l'avons vu en présentant le format msh, il existe la possibilité de tracer des données à condition qu'elles soient données dans le bon format. Le module post-traitement permet de tracer ces données et de les visualiser dans l'interface de (Gmsh). [64]

### 3.6 La géométrie

La géométrie créé est présenté ci-dessous (Fig.3-10)

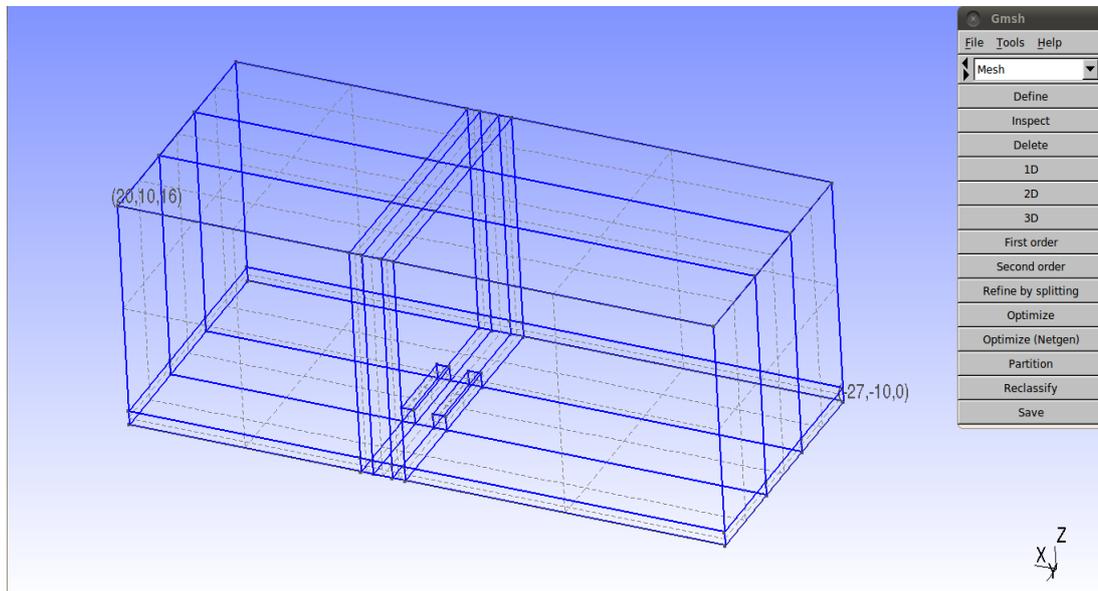


Fig. 26 – La géométrie

#### 3.6.1 La génération du maillage (2-D)

Après la création de la géométrie nous générons le maillage avec le module mech (Fig. 27).

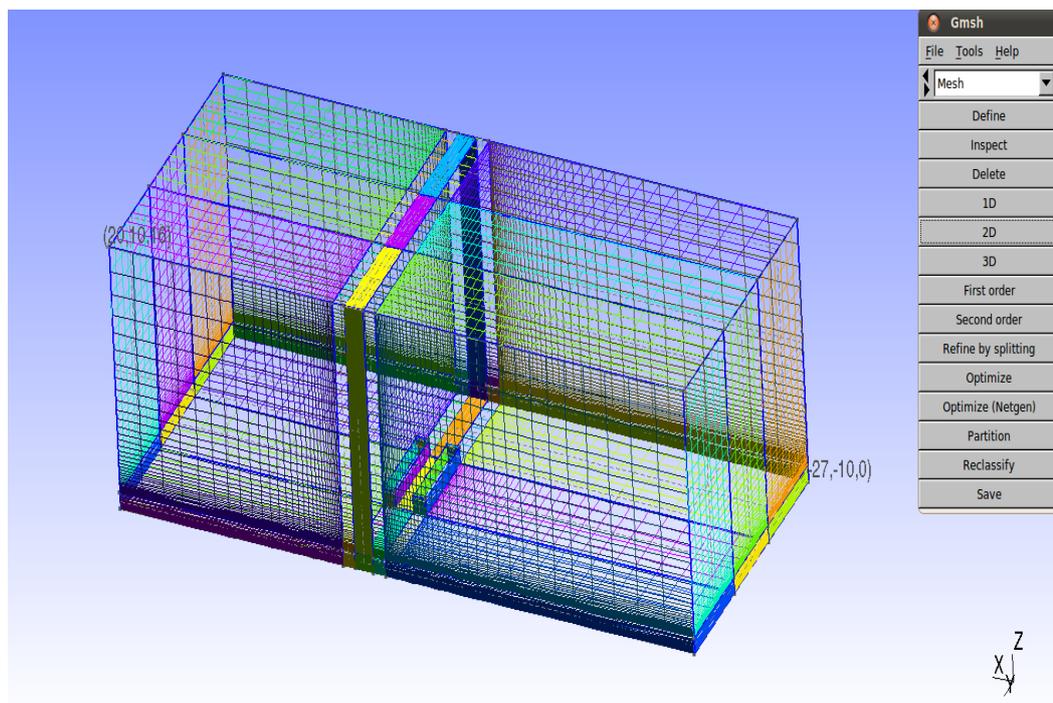


Fig. 27 - La génération du maillage (2-D) et Domaine de calcul.

### 3.6.2 La génération du maillage (3-D)

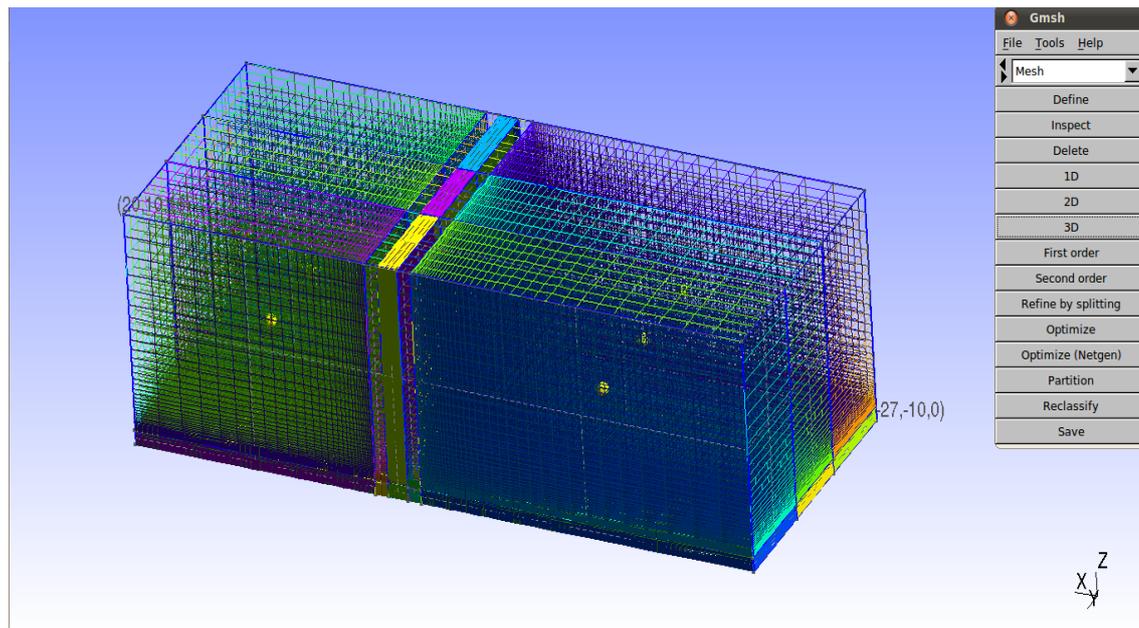


Fig. 28 - La génération du maillage (3-D) et Domaine de calcul.

### 3.6.3 Groupe physique {'physical groupe'}

Et finalement, on définit les conditions aux limites à l'aide de la commande {'physical groupe'}. Cette commande permet de définir les caractéristiques physiques et dans des régions spécifiques du modèle de simulation: wall (paroi); outlet (l'écoulement sortant); inlet (l'écoulement entrant).

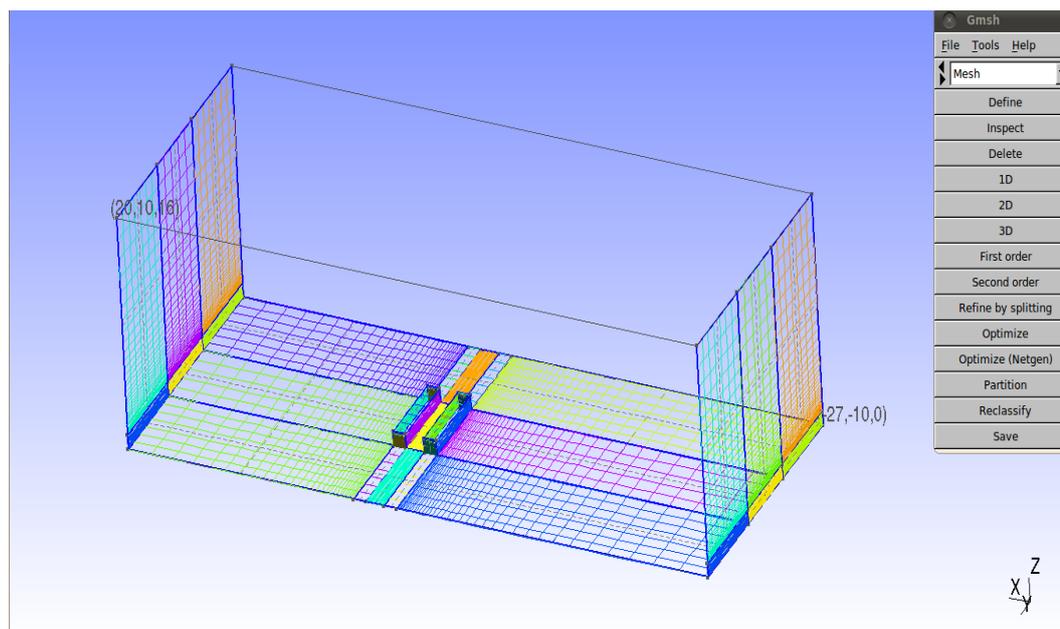


Fig.29 -groupe physique

### 3.7 Le code de calcul Code\_Saturne

Le Code\_Saturne est un logiciel open source généraliste de Mécanique des Fluides Numérique CFD, (Computational Fluid Dynamics), développé par EDF (Electricité De France) et distribué sous licence GNU GPL depuis 2007. Il est utilisé par EDF dans de nombreuses applications allant de la sûreté des centrales nucléaires à la recherche sur le futur mix énergétique. Il est également un logiciel de référence dans le projet Européen PRACE [69] Code\_Saturne permet de résoudre les équations de Navier-Stokes et peut être utilisé dans des configurations d'écoulements stationnaires ou instationnaires, laminaires ou turbulents, isothermes ou non, incompressibles ou faiblement dilatables en 2D, 2D axisymétrique et 3D. Il est également possible d'ajouter la résolution d'une ou plusieurs équations de transport pour un scalaire passif. [54]

Le code contient plusieurs modèles de turbulence, qui sont basés sur l'approche RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) ou LES (Large-Eddy Simulation). Il inclut également différents modules permettant de modéliser des physiques particulières, comme par exemple. [54]

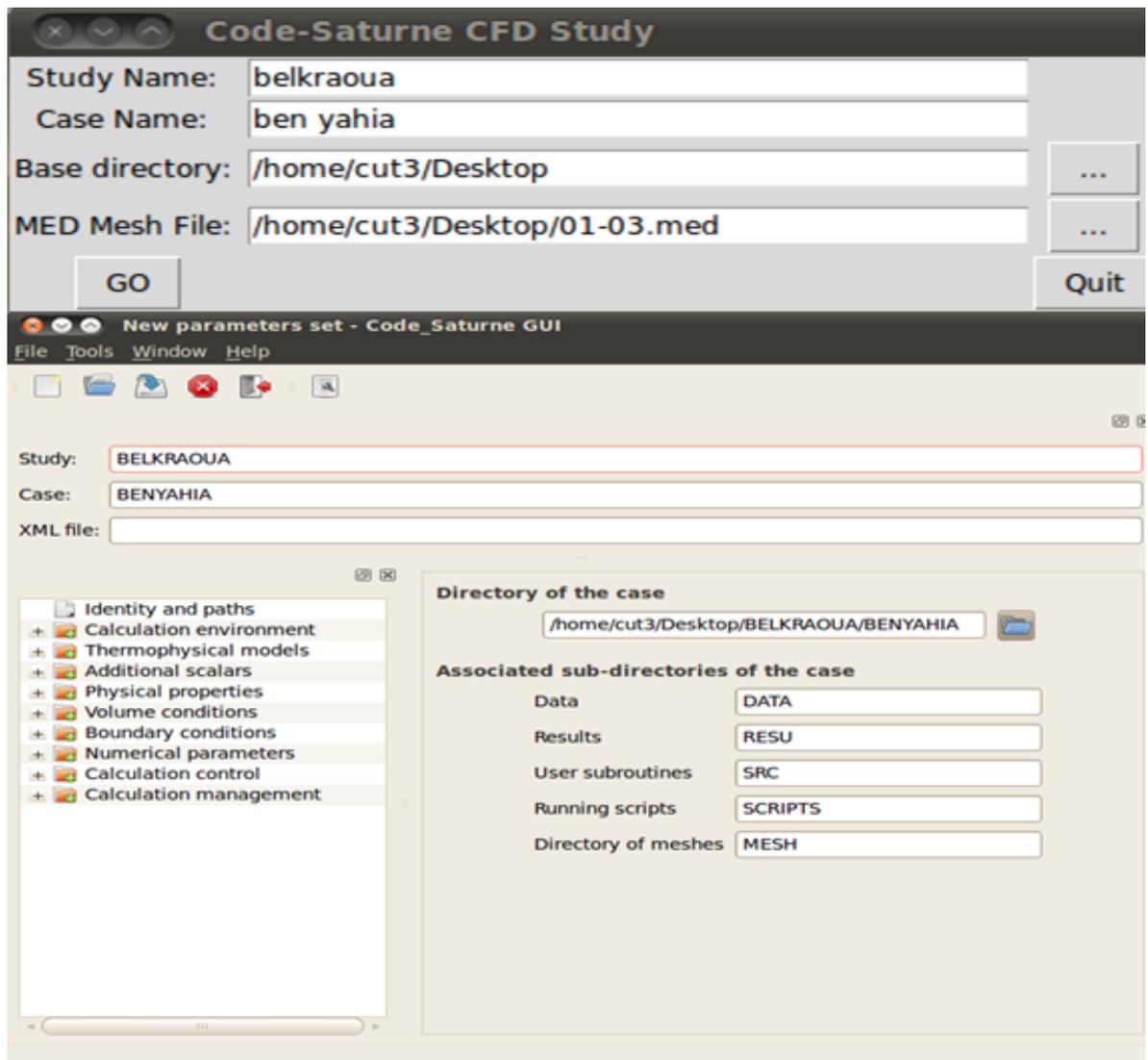
- la combustion du gaz, du charbon et du fuel lourd,
  - le transfert radiatif semi-transparent,
  - l'effet joule,
  - les arcs électriques,
  - les écoulements faiblement compressibles,
  - les écoulements atmosphériques,
- ✓ Plusieurs modèles sont disponibles dans (Code\_Saturne), à savoir :
- 1- Laminaire.
  - 2- Longueur de mélange.
  - 3- k-epsilon.
  - 4- k-epsilon à production linéaire.
  - 5- k-omegaSST.
  - 6-Rij-epsilon standard (LRR).
  - 7- Rij-epsilon (SSG).

8- v2f (phi-model).

9- LES (Smagorinsky).

10-LES (Dynamique).

La Fig. 30, ci-dessus représente l'interface graphique de (Code\_ Saturne).



**Fig.30 -Interface graphique de Code\_ Saturne.**

### 3.8 Logiciel SALOME

(SALOME) est un logiciel open-source qui fournit une plate-forme générique pour pré/post-traitement en simulation numérique développé entre autre part(EDF) et le (CEA). Il est basé sur une architecture ouverte et flexible. [66]

(SALOME) peut être installé sur plusieurs plateformes. Il peut être utilisé comme application autonome pour la génération de modèle (CAO) (conception assistée par ordinateur), de leur maillage et du post-traitement des résultats de calcul. [66]

### 3.8.1 Ses fonctionnalités

- (Import/export) de géométries, (réparer/nettoyer), (créer/modifier) des géométries;
- Mailler des éléments géométriques.
- Manipuler des propriétés physiques ou numériques d'éléments géométriques.
- La supervision des flux de travail de calcul.
- La capacité à intégrer des solveurs spécifiques.
- Visualiser/post-traiter les champs résultats.
- Une scène graphique (3-D).
- Une interface texte basée sur le langage Python (programmation ). [66]

### 3.8.2 (SALOME) peut être utilisé comme une application "autonome " permettant

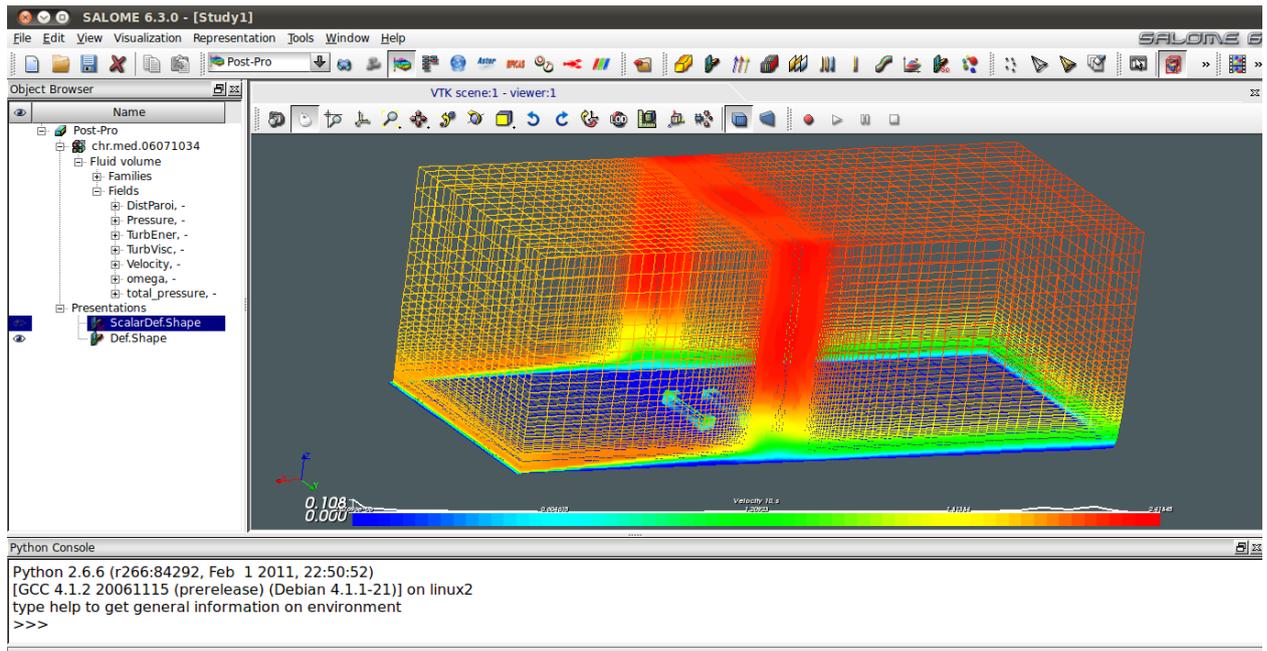
- ❖ • De produire des modèles de (CAO).
- ❖ • De générer des maillages de cette (CAO).
- ❖ • De préparer des calculs numériques.
- ❖ • De lancer via le superviseur un schéma de calcul.
- ❖ • Et de post-traiter les résultats de ces calculs. [67]

### 3.8.3 Autres fonctionnalités

Modules principaux

- ❖ • **Kernel**: gestion des composants distribués, services principaux.
- ❖ • **GUI** : interface graphique utilisateur.
- ❖ • **Geometry (module GEOM)** : créer, éditer, importer/exporter les modèles (CAO).
- ❖ • **Mesh (module SMESH)** : création de maillages de modèles (CAO) en utilisant un algorithme de maillage standard ou un générateur de maillage externe (plugin).
- ❖ • **Med** : gestion des fichiers (MED) (modèle d'échange de données de la plateforme).
- ❖ • **Post-processor (module VISU)** : visualiseur spécifique pour analyser les résultats de solveurs (scalaires, vectoriels).
- ❖ • **YACS** : module de supervision de couplage de code. [68]

La Fig. 31, ci-dessus représente l'interface graphique Plate-forme SALOME.



**Fig. 31- Interface Graphique de Salome.**

### 3.9 Résolution Numérique

La modélisation numérique ou simulation de la géométrie et génération de maillage dans ce travail sont réalisés à l'aide de logiciel (GMSH).

Pour le lancement du calcul ont a utilisé le code de calcul (Code\_Saturne). Et finalement on a utilisé logiciel (SALOME) qui est basé sur une architecture libre et flexible faite de composants réutilisables et les fichiers exécutables.

Ce logiciel est gratuit (open source Under Linux).

### 3.10 Caractéristique du poste de travail

Local case configuration:

- Date: Sunday 06 May 2018-11:15:05 PM CET
- System: Linux 2.6.32-34-generic
- Machine: cut-ist1-desktop
- Processor: Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz
- Memory: 12006 MB
- User: cut-ist1 (CUT-IST1)
- Directory: /home/cut-ist1/tmp\_Saturne/BELKRAOUA .CASE.05171344
- MPI ranks: 1

## **Conclusion**

Dans ce chapitre on a montré une description du cas étudié et ses différentes caractéristiques. Nous avons identifié le domaine de calcul avec différents raffinements. Par la suite on a présenté les logiciels utilisés pour ce travail afin de réaliser notre étude numérique.

# Chapitre 4

## Résultats et discussion

Les Tableau de comparaison des maillages

## 4.1 Introduction

Du point de vue physique un on série de bâtiments est vue comme un matériaux non-naturel autour de quel se génère un écoulement par des effets naturels, dans les cas des cités composées de plusieurs bâtiments le sujet du renouvellement de l'air entre les bâtiments qui peut être présenté sous forme d'une rue est très important, car il touche directement d'une part la dispersion des émissions provenant des échappements des véhicules circulant dans la rue et ceux stationnés particulièrement lors leurs démarrage matinal, d'autre part le renouvellement de l'air dans les espace semi-enfermé par la phénomène de la ventilation. En utilisant le Modèle de Turbulence SST K-Omega.

Nous pouvons observer les résultats de la modélisation ci-dessous, pour une vitesse de (2 m/s) pour déférent cas. Les profils de vitesses longitudinales le long de l'axe du sillage sont tracées une comparaison avec les données expérimentales publiées est faite.

## 4.2 Validation

### Interprétation graphique

La figure 32 représente une comparaison entre les résultats numériques de notre étude dans le cas de deux bâtiment simple avec  $H/L=1$  (la distance entre les bâtiments égale à la hauteur du bâtiment) avec les résultats expérimental de Uehira es al (2000) et les résultats LES de Cheng 2011. Les profils sont tracée ou centre du la rue. On générale l'allure et l'évolution globale de la vitesse horizontal. En mesure que l'altitudeaugment est respectée avec un petit déphasage dans la partie inférieure qui représente l'espace entre les deux bâtiments, ce déphasage est peut être lié à la position exacte du grand turbulent centrale, d'autre part les valeurs expérimentales Sant prisent avec un instrument de mesure dans une direction de la vitesse par contre le résultat numérique donne directement le résultat des 3 composants de vitesse.

Juste en dessus du bâtiment les 3 courbes sont croisées avec une petite déformation similaire à celle du résultat LES avec une erreur relative qui ne dépasse pas les 5%, quand les résultats expérimental ne donne pas d'informations dans cette zone.

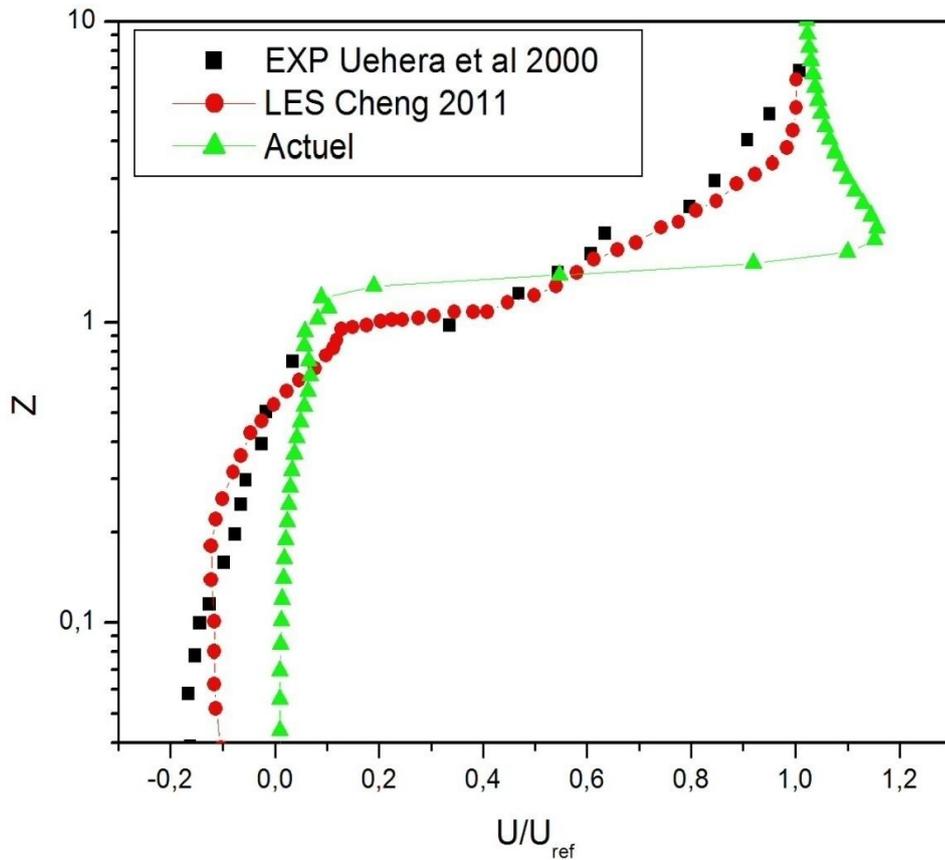


Fig. 32- Différents profils CFD au milieu de la rue

Just après la vitesse varie d'une façon rapide dans les 3 graphes par ce que a partir de cette région on est en dehors de la couche limite, au-delà de cette couche on remarque un écart important entre le notre résultat es les autres (LES. Expérimentale), cela est probablement dû à des erreurs numériques ou à la nature de la vitesse calculée et mesurée.

Après une altitude plus ou moins importante les 3 courbes se converge vers les même valeur de la vitesse et qui représente la vitesse max de l'écoulement libre.

### 4.3 Analyse et discussion des résultats

La simulation du champ continu d'écoulement turbulent en utilisant le Modèle de Turbulence SST K-Omega.

### 4.4 Étude sensibilité de maillage

Pour bien adapter notre maillage afin d'avoir de résultats plus proche des études expérimentales on fait une étude de sensibilité de maillage et une comparaison entre trois cas des maillages et on a trouvé les résultats dans le tableau suivant :

## ❖ Les Tableau de comparaison des maillages

**TAB. 1** caractéristique du maillage (Toit de forme plate)

---

**Cas 1 : a- Toit de forme plate:(raffinement moyen)**

---

caractéristique du maillage

---

<b>Nœuds sur les lignes</b>	3378
<b>Nœuds sur les surfaces</b>	45115
<b>Nœuds dans les volumes</b>	145464
<b>Quadrangles (rectangle)</b>	50340
<b>Hexaèdre (Cube)</b>	180960
<b>Nombre d'itérations</b>	700

---

**TAB. 2** caractéristique du maillage (Toit en forme face-à-face)

---

**Cas 3 : d- Toit en forme face-à-face:(raffiné)**

---

caractéristique du maillage

---

<b>Nœuds sur les lignes</b>	4632
<b>Nœuds sur les surfaces</b>	91384
<b>Nœuds dans les volumes</b>	559328
<b>Quadrangles (rectangle)</b>	98397
<b>Hexaèdre (Cube)</b>	629010
<b>Nombre d'itérations</b>	700

---

TAB. 3 caractéristique du maillage (Toit incliné)

Cas 3 : b- Toit incliné: (raffiné)	
caractéristique du maillage (Toit incliné)	
Nœuds sur les lignes	4592
Nœuds sur les surfaces	69966
Nœuds dans les volumes	433440
Quadrangles (rectangle)	77220
Hexaèdre (Cube)	399342
Nombre d'itérations	700

#### 4.5 Une gorge de rue est définie par les côtés suivants

##### 4.5.1 Le côté sous le vent « Lee-Ward »

Le côté d'un objet qui est abrité du vent et fait face à la direction opposée de laquelle le vent souffle. Dans le cas d'un bâtiment libre il est le côté descendant tandis que dans le cas d'une cavité ou d'une cour c'est le côté ascendant (fig. 33).Le côté sous le vent est l'opposé du côté au vent.[43]

##### 4.5.2 Le coté au vent « Wind-Ward»

Le côté d'un objet qui est exposé au vent et fait face à la direction de laquelle le vent souffle. Dans le cas d'un bâtiment libre c'est le côté ascendant tandis que dans le cas d'une cavité ou d'une cour c'est le côté descendant (voir figure.33). Le côté au vent est l'opposé du côté sous le vent.[43]

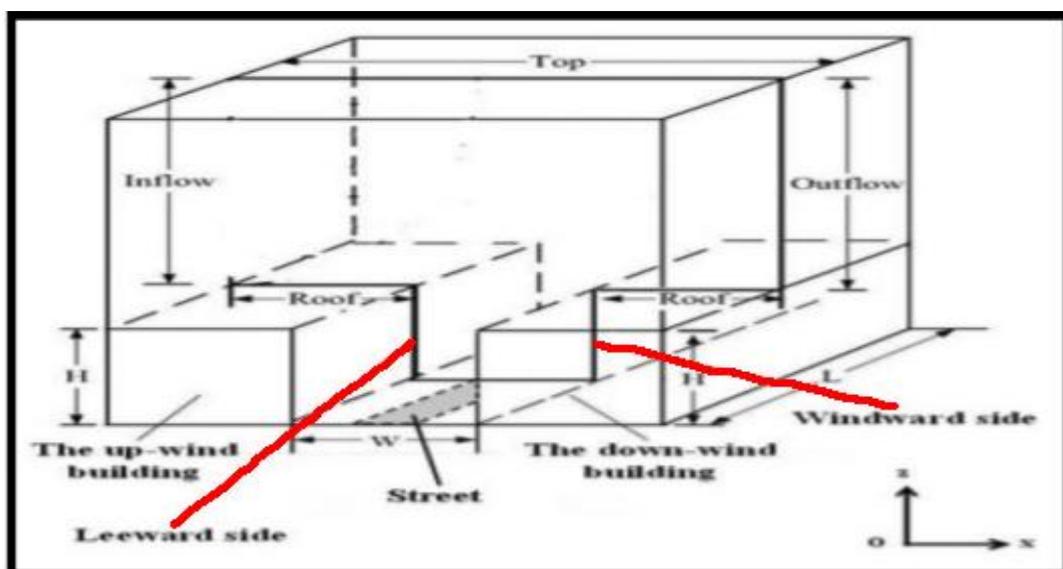


Figure 33 -La géométrie d'une gorge de rue [43]

## 4.6 Etude des cas

### 4.6.1 La variation de la longueur de la rue

#### 4.6.1.1 La longueur (L)=H

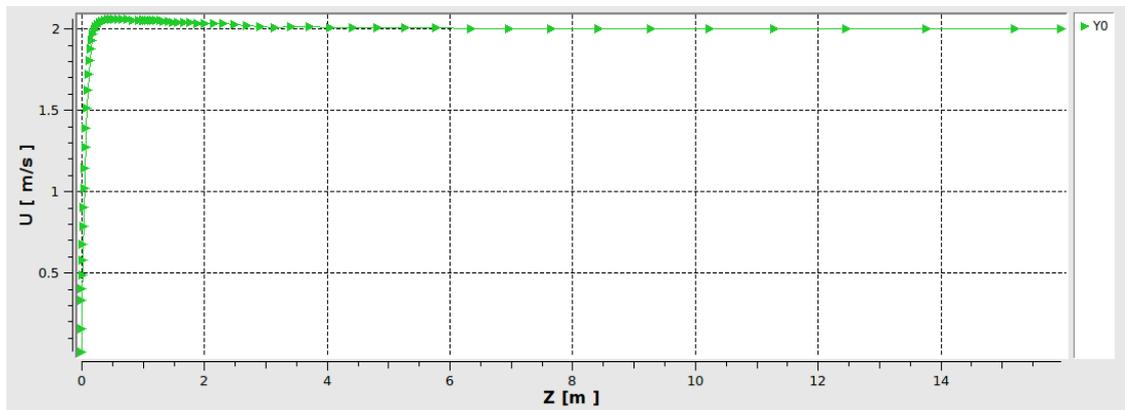


Fig. 34- Profils de vitesse à l'entrée (L)=H

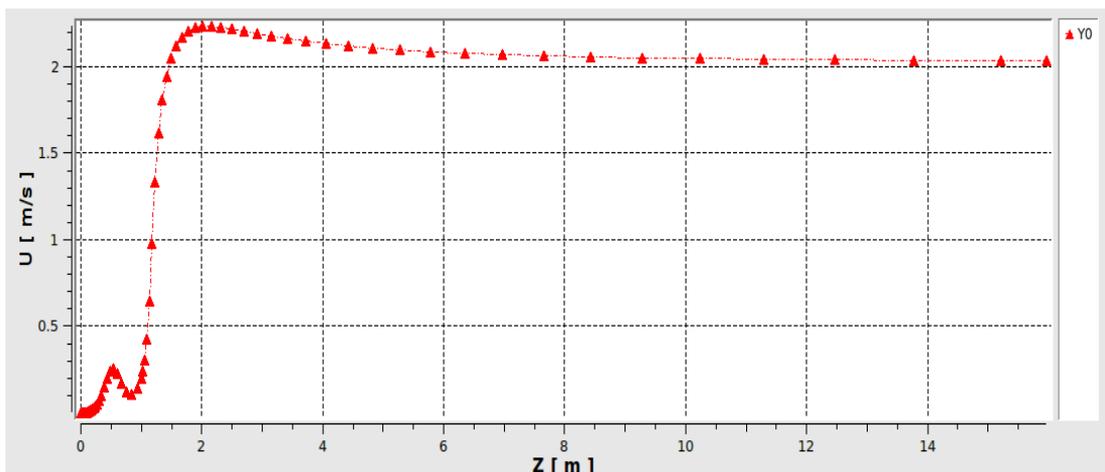


Fig. 35- Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=H

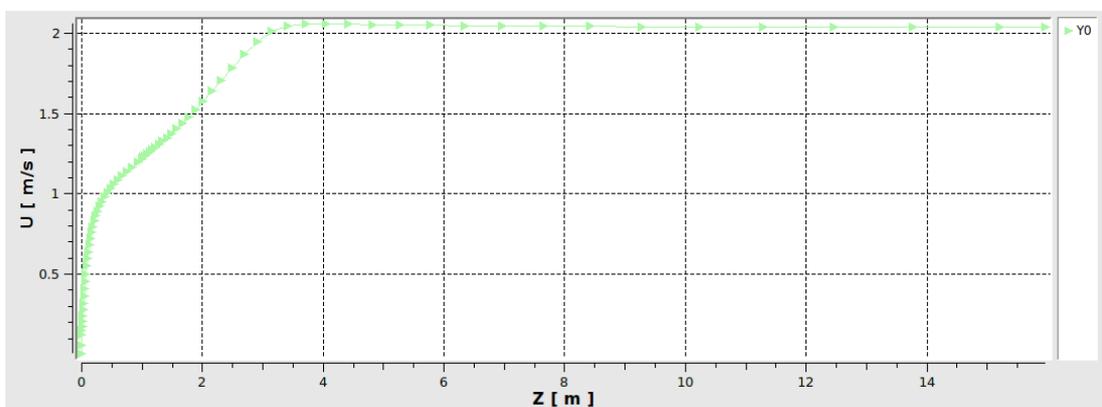


Fig. 36- Profils de vitesse à la Sortie (L)=H

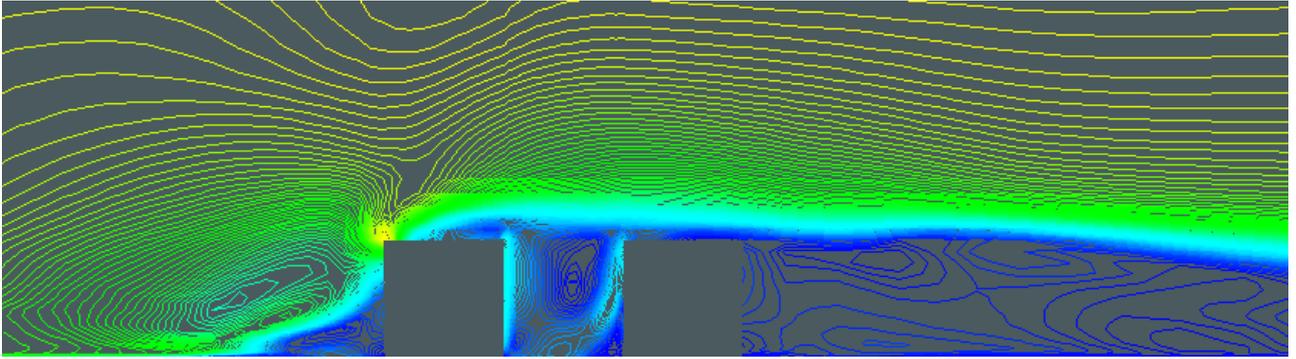


Fig. 37- coupe verticale de champ iso vitesse (L)=H

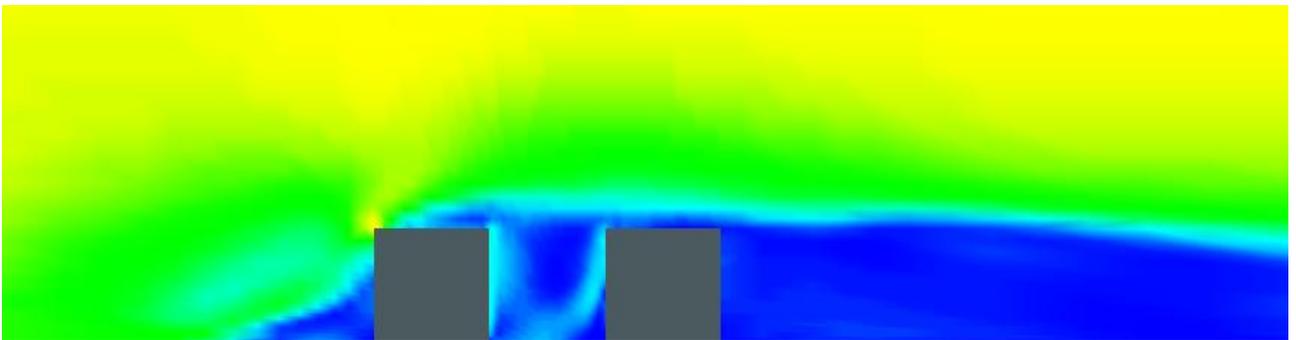


Fig. 38- coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=H

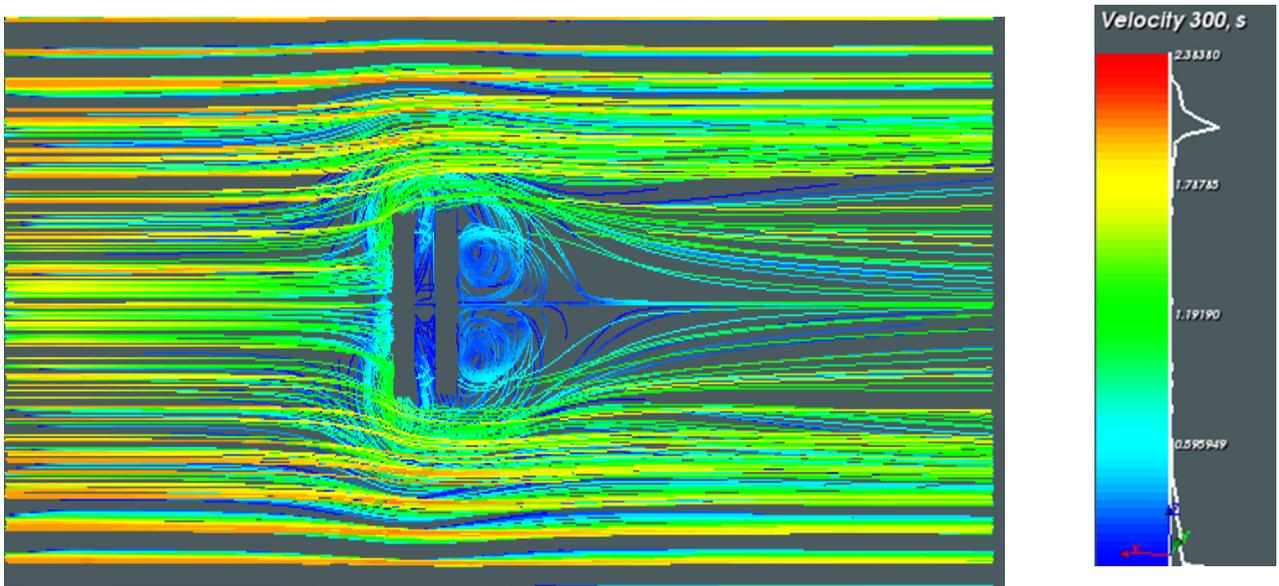


Fig. 39- Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=H

#### 4.6.1.2 La longueur (L)=1.5 H

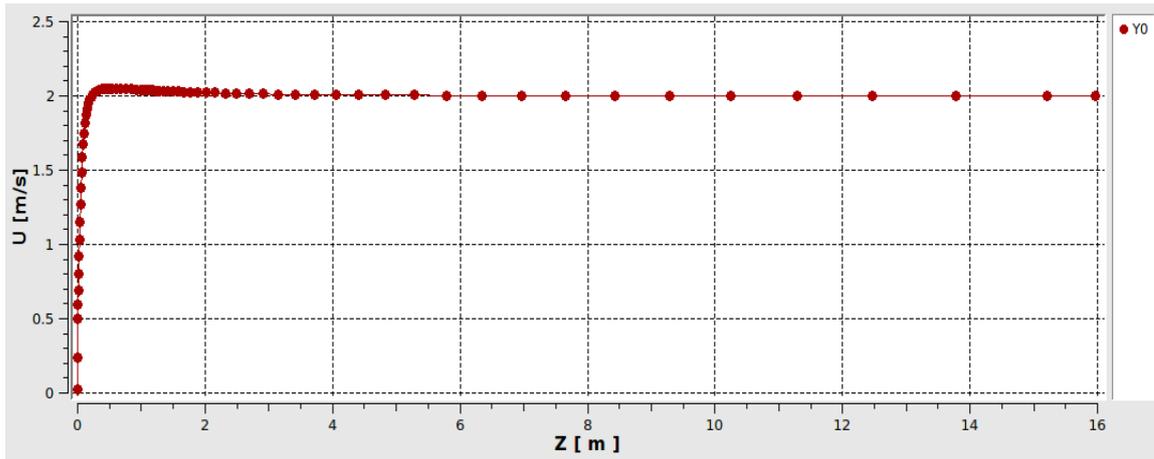


Fig. 40- Profils de vitesse à l'entrée (L)=1.5 H

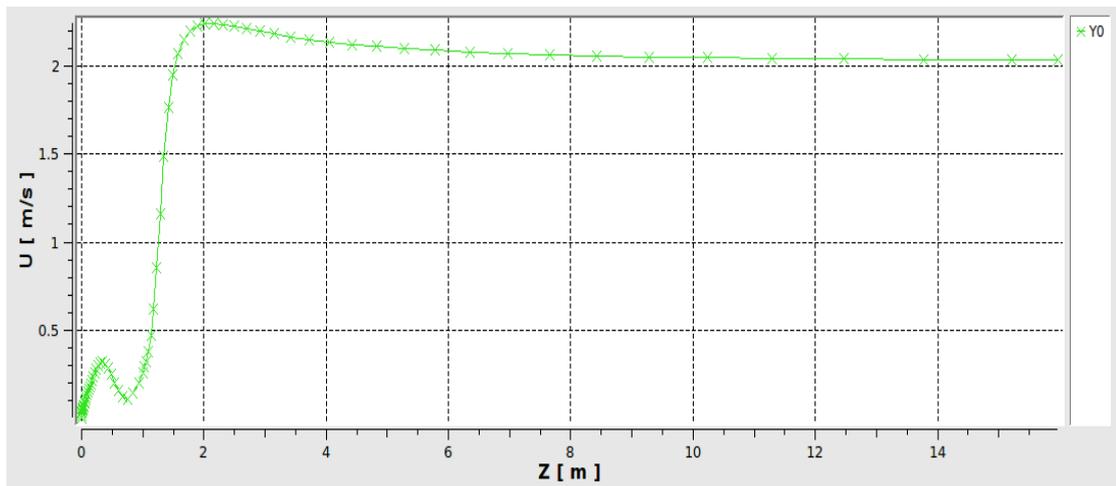


Fig. 41- Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=1.5 H

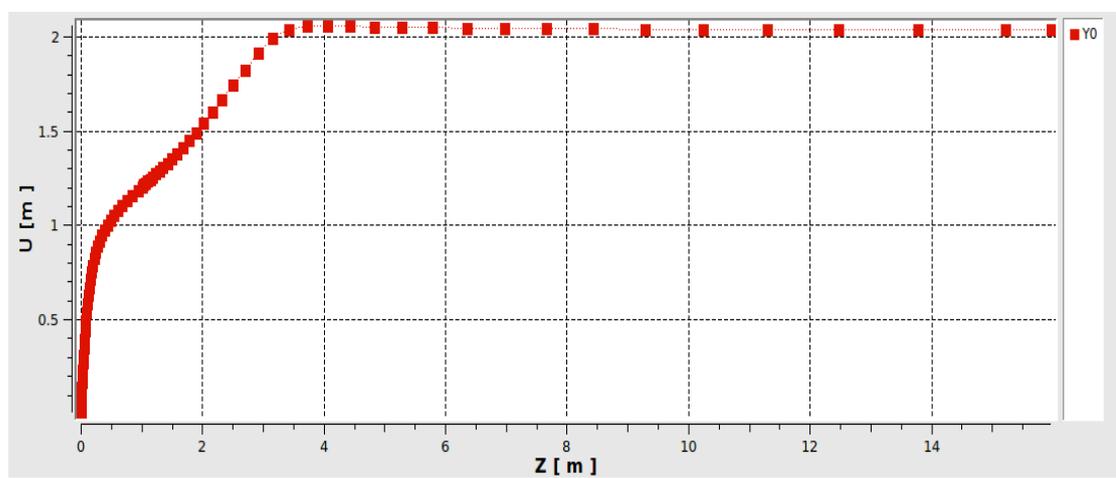
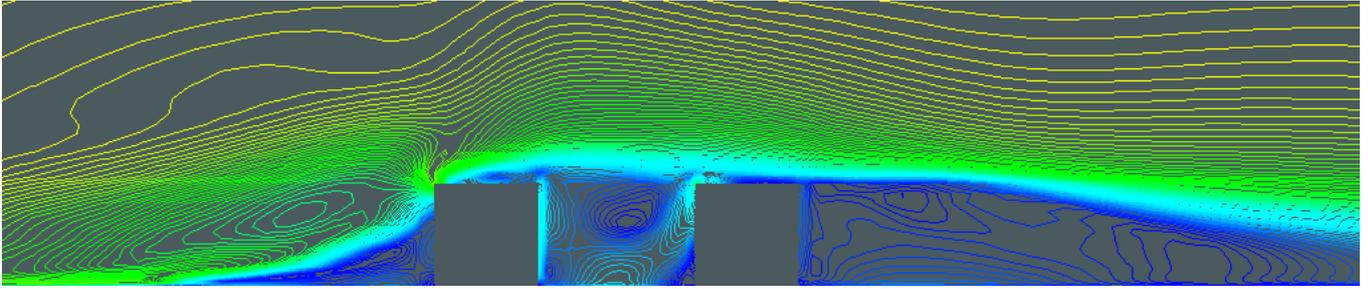
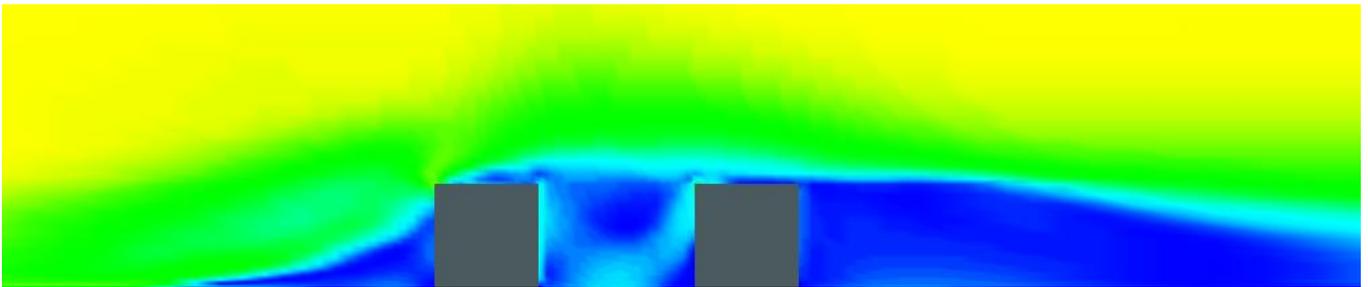


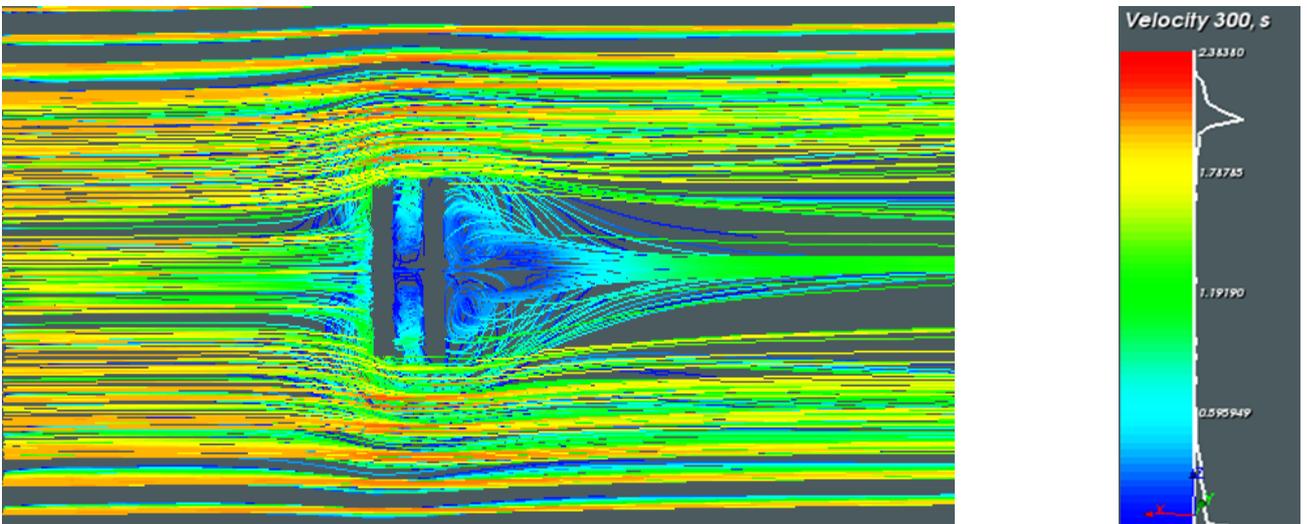
Fig. 42- Profils de vitesse à la Sortie(L)=1.5 H



**Fig. 43-coupe verticale de champ iso vitesse (L)=1.5 H**



**Fig. 44-coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=1.5 H**



**Fig.45-Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=1.5H**

### 4.6.1.3 La longueur (L)=2H

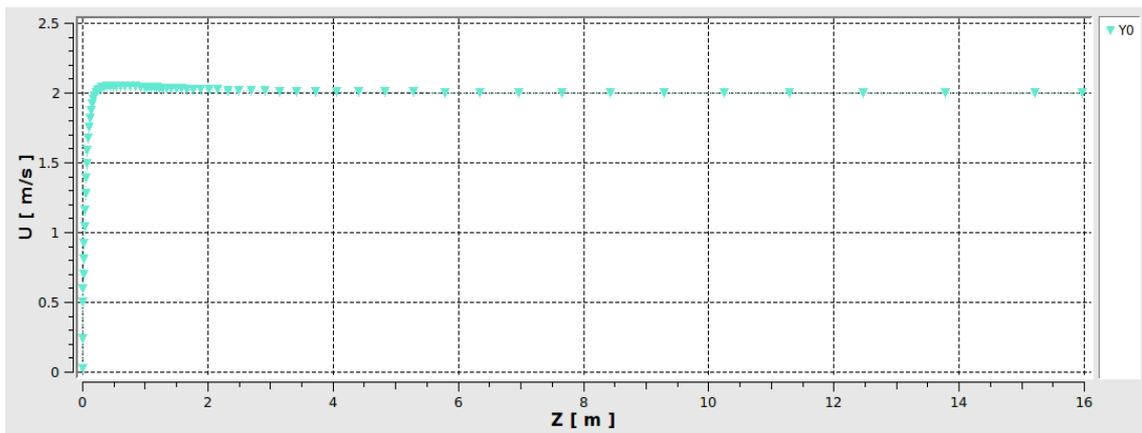


Fig. 46- Profils de vitesse à l'entrée (L)=2 H

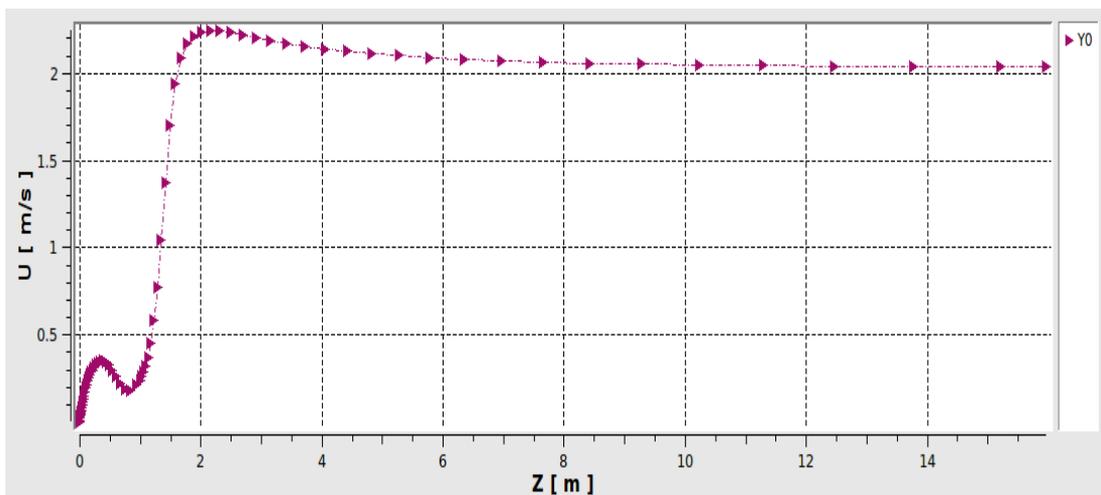


Fig. 47- Profils de vitesse Entre les bâtiments (L)=2 H

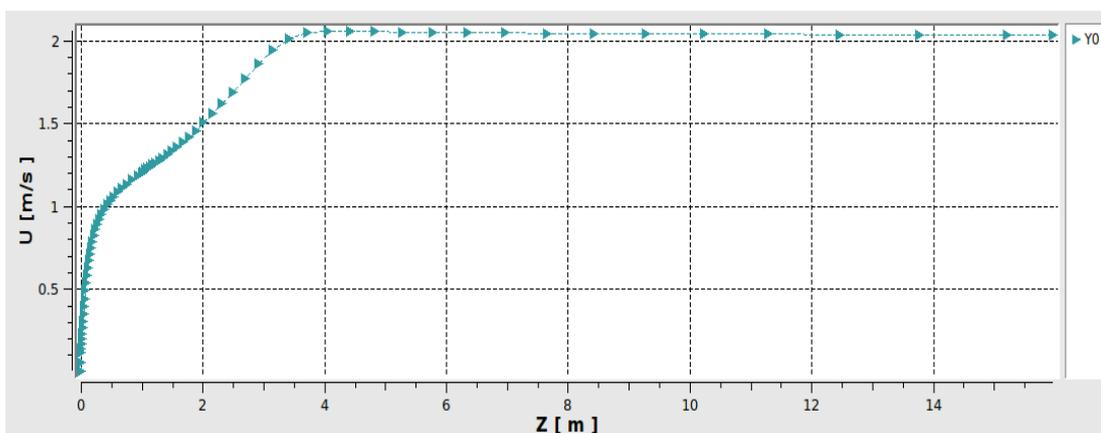
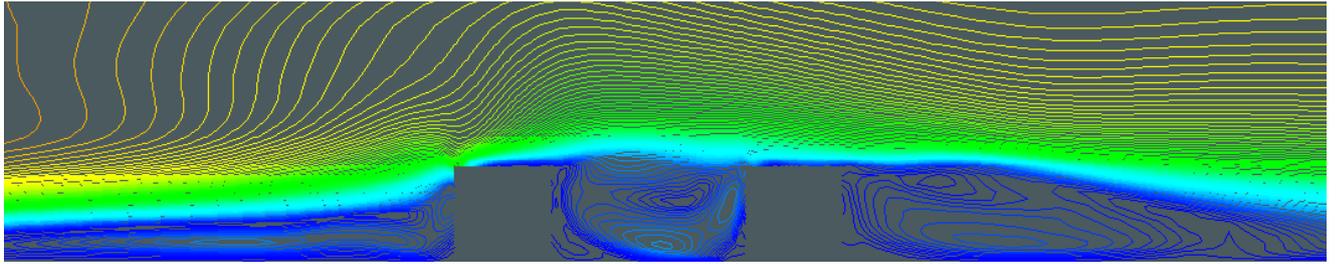
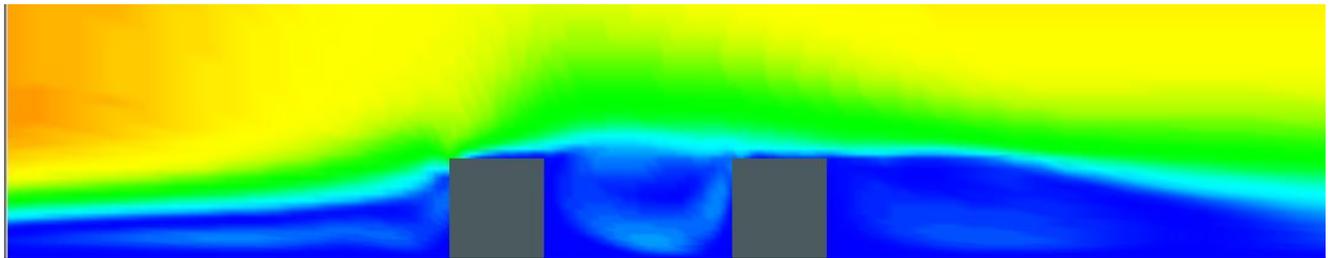


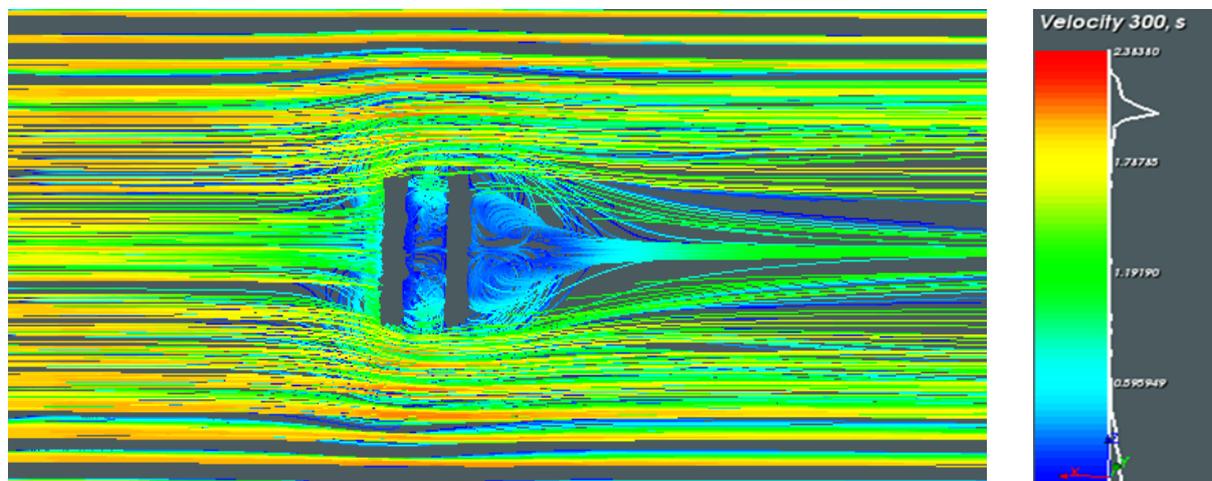
Fig. 48- Profils de vitesse à la Sortie (L)=2 H



**Fig. 49-coupe verticale de champ iso vitesse (L)=2H**



**Fig. 50-coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (L)=2H**



**Fig. 51-Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(L)=2H**

#### 4.6.1.4 Toit de forme plate

Un grand tourbillon sous forme d'un vortex symétrique dans le sens des aiguilles d'une montre est généré au centre de la rue. L'écoulement au centre de la circulation du vortex est faible et lent, de sorte qu'il devient plus rapide quand il s'approche de la paroi du bâtiment. La circulation du tourbillon augmente avec la vitesse du vent, où la vitesse la plus basse est observée près de la région inférieure du centre de la rue. Cependant, la vitesse la plus élevée est observée dans la partie supérieure du centre de la rue.

## 4.6.2 La variation de la hauteur des bâtié

### 4.6.2.1 La hauteur (H)=1.5H

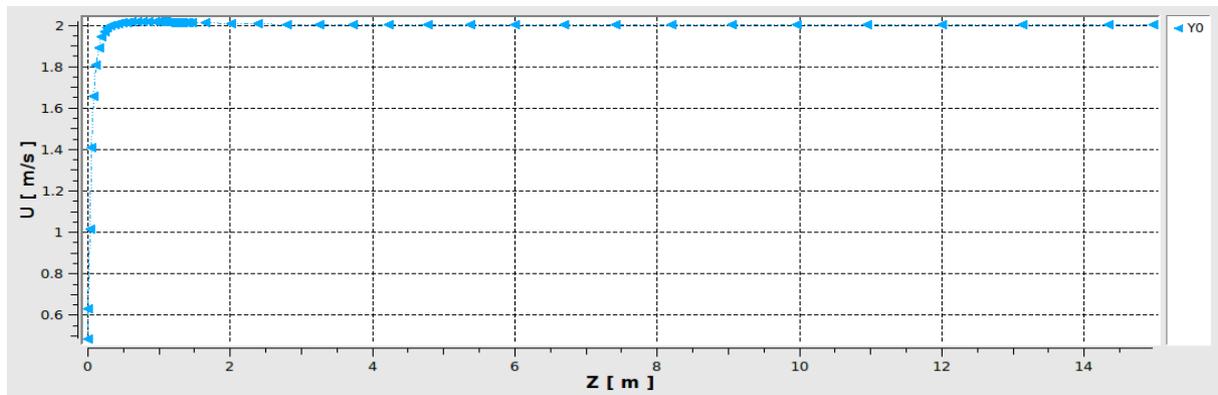


Fig. 52- Profils de vitesse à l'entrer (H)=1.5H

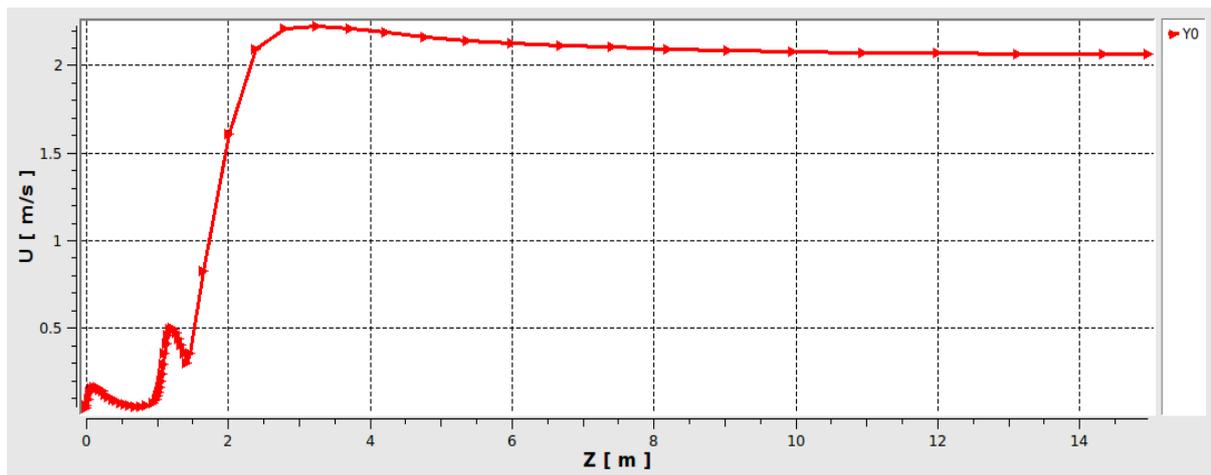


Fig. 53- Profils de vitesse Entre les bâtiments (H)=1.5H

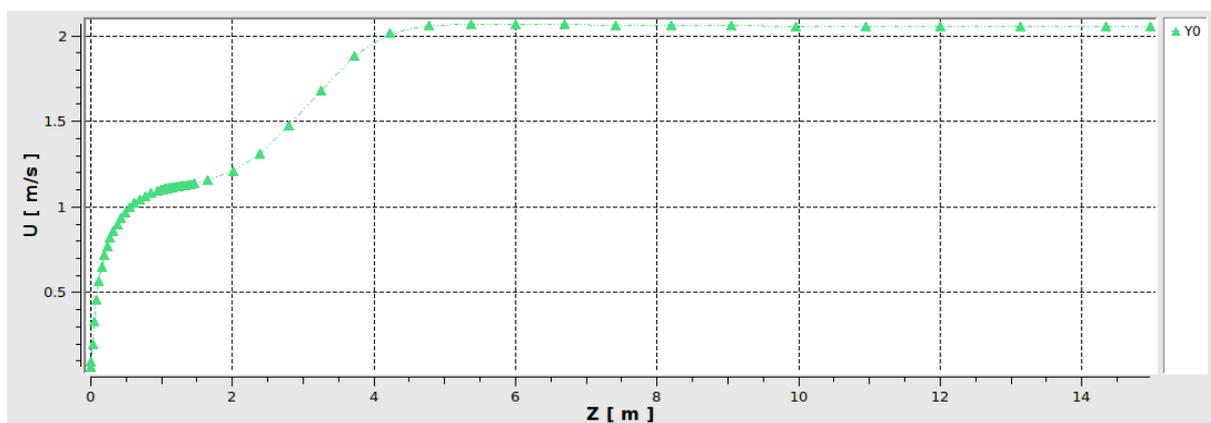


Fig. 54- Profils de vitesse à la Sortie (H)=1.5H

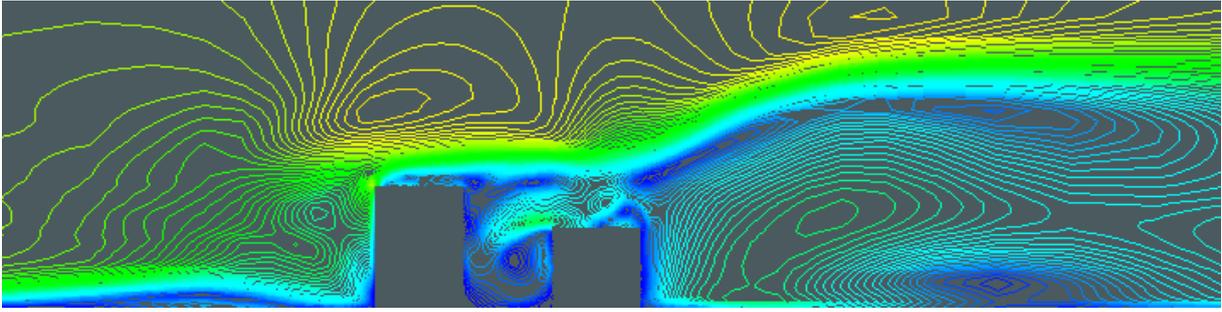


Fig. 55-coupe verticale de champ iso vitesse (H)=1.5H

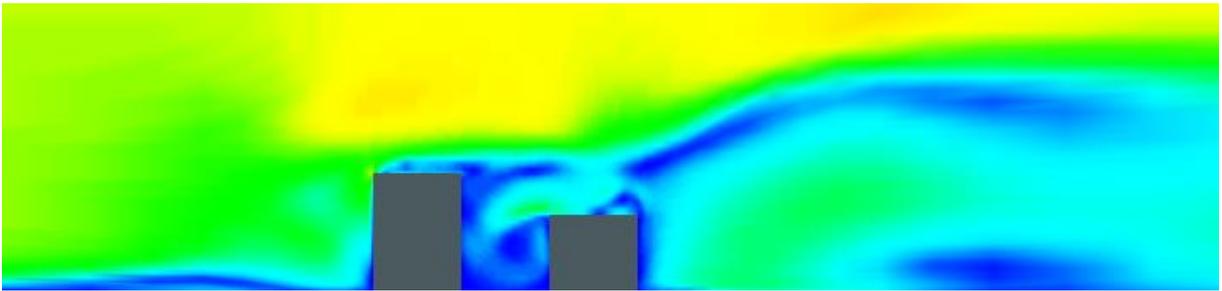


Fig. 56-coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (H)=1.5H

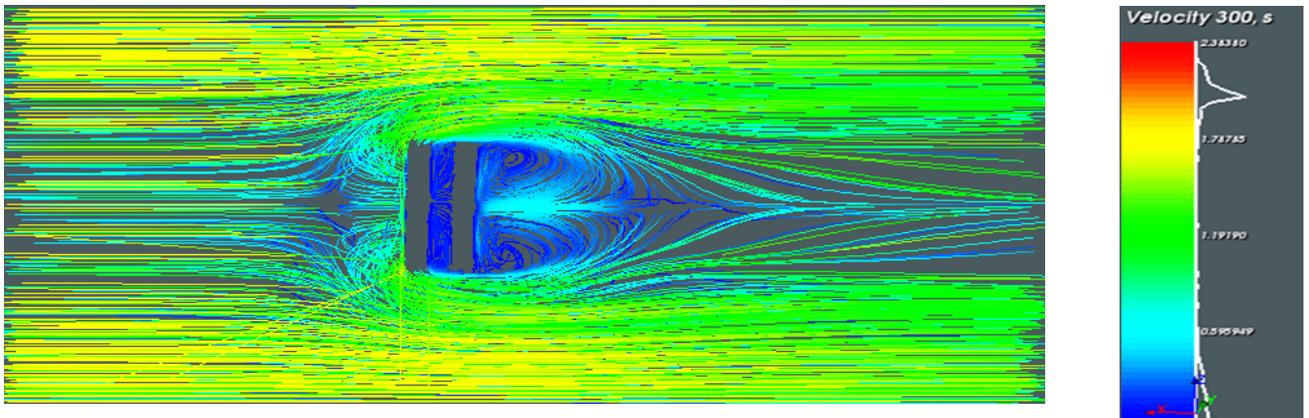


Fig. 57-Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(H)=1.5H

#### 4.6.2.2 La hauteur (H)= 2 H

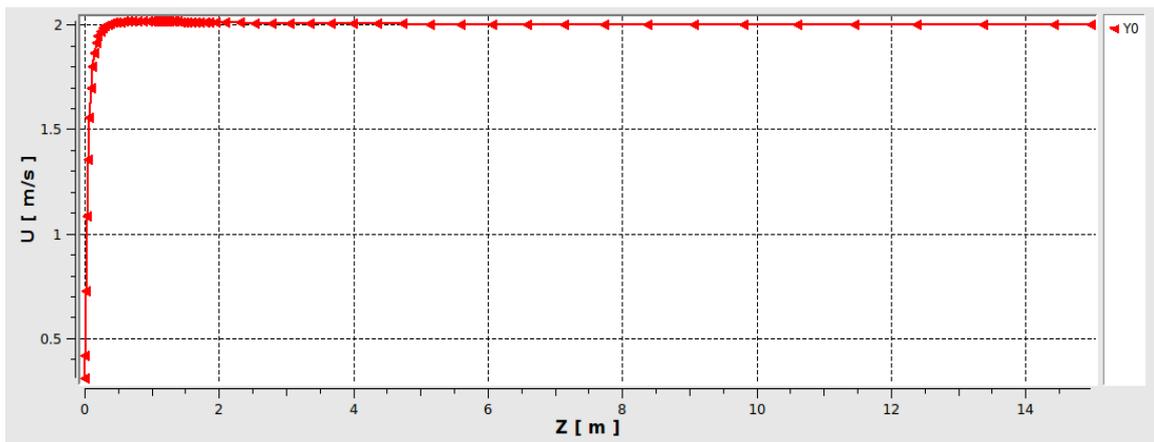


Fig. 58- Profils de vitesse à l'entrée (H)=2H

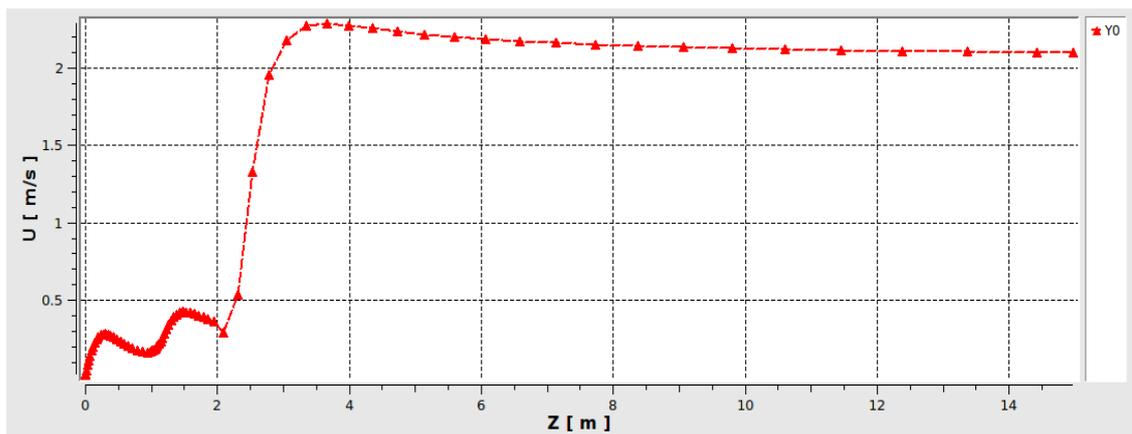


Fig. 59- Profils de vitesse Entre les bâtiments (H)=2H

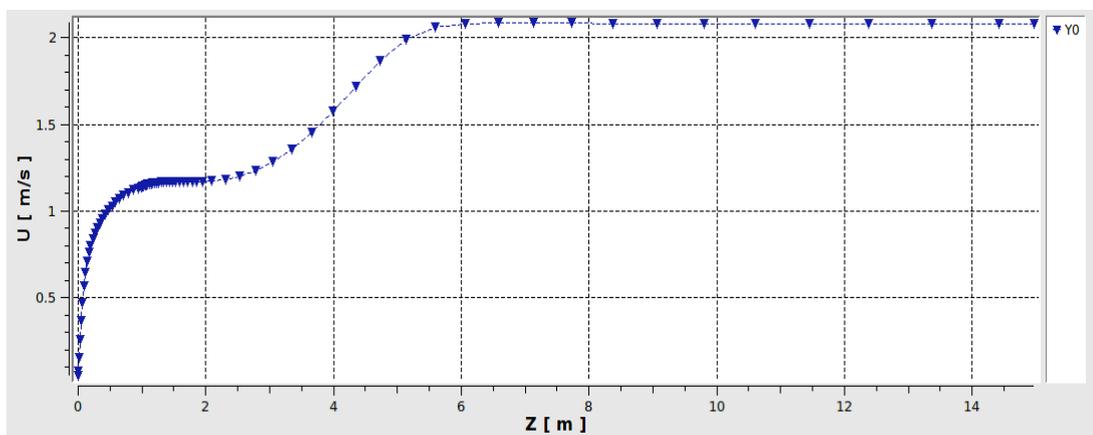
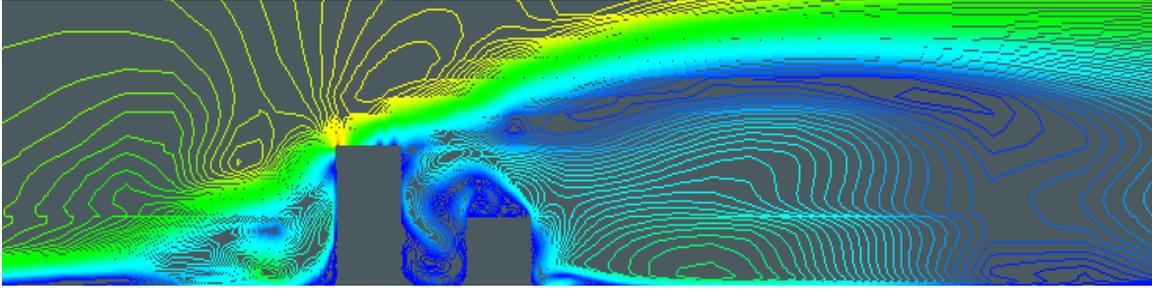
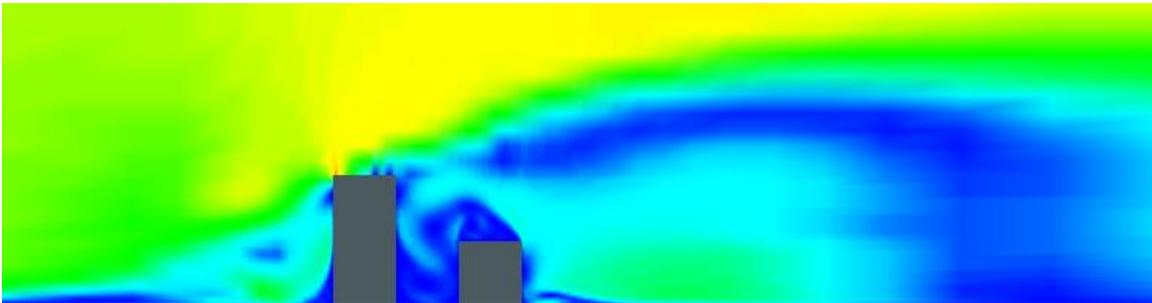


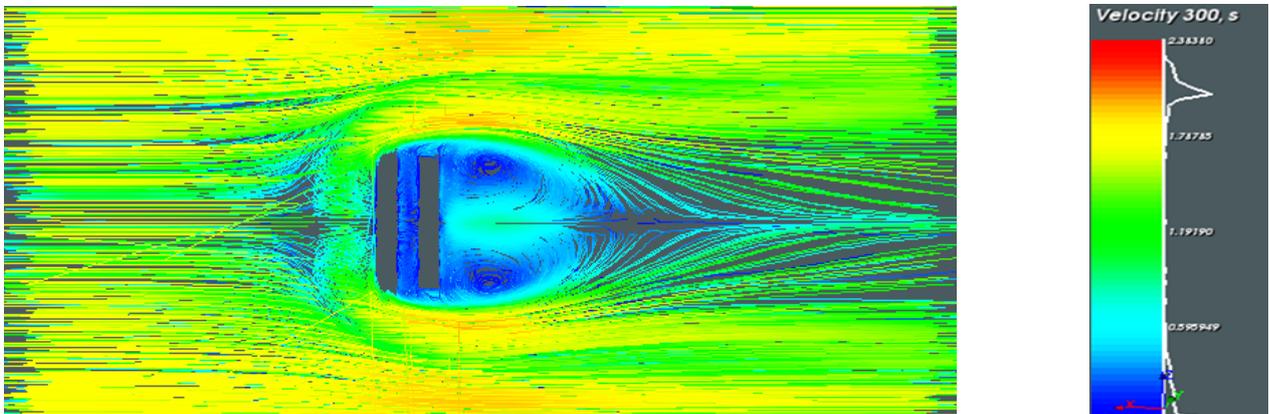
Fig. 60- Profils de vitesse à la sortie (H)=2H



**Fig. 61-coupe verticale de champ iso vitesse (H)=2H**



**Fig. 62-coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (H)=2H**



**Fig. 63-Lignes de courant du champ de vitesse horizontal(H)=2H**

### 4.6.2.3 La variation de la hauteur des bâtié

Dans ce cas, deux tourbillons principaux tournent dans la direction opposée, mais ils semblent étirés par rapport à la configuration du canyon symétrique: le tourbillon supérieur tournant dans le sens des aiguilles d'une montre se prolonge et couvre le toit du bâtiment sous le vent, les résultats du vortex inférieur étant aplatis.

Une zone de recirculation de l'air est visible sur la partie aval du bloc face au vent de la rue canyon provoquant une réinjection de l'air pollué dans la rue canyon. Ces tourbillons au phénomène d'accumulation et de mélange des polluants avec l'air ambiant.

### 4.6.3 La variation de la forme de toit des bâtié

#### 4.6.3.1 Toit en forme (face-à-face)

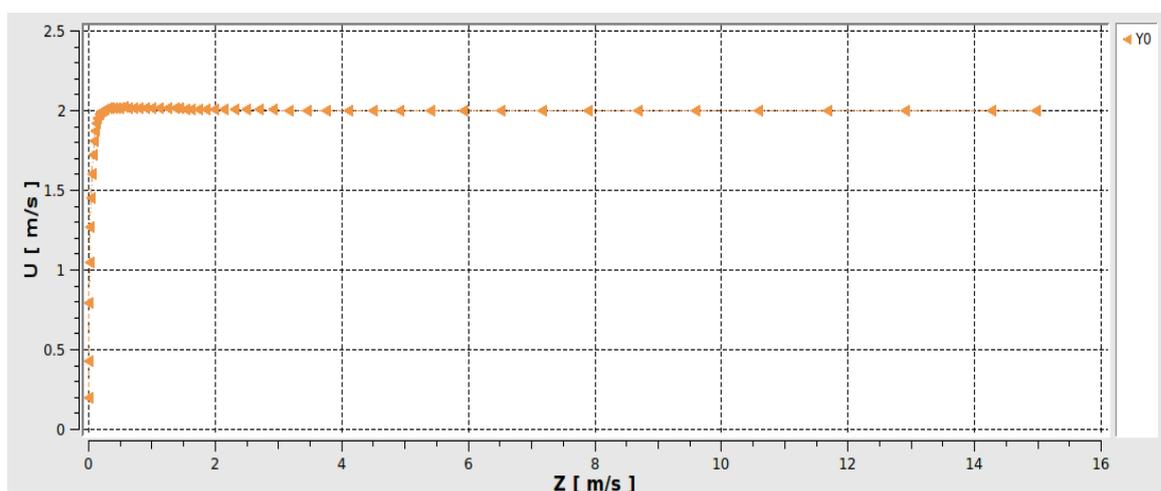


Fig. 64- Profils de vitesse à l'entrer (face-à-face)

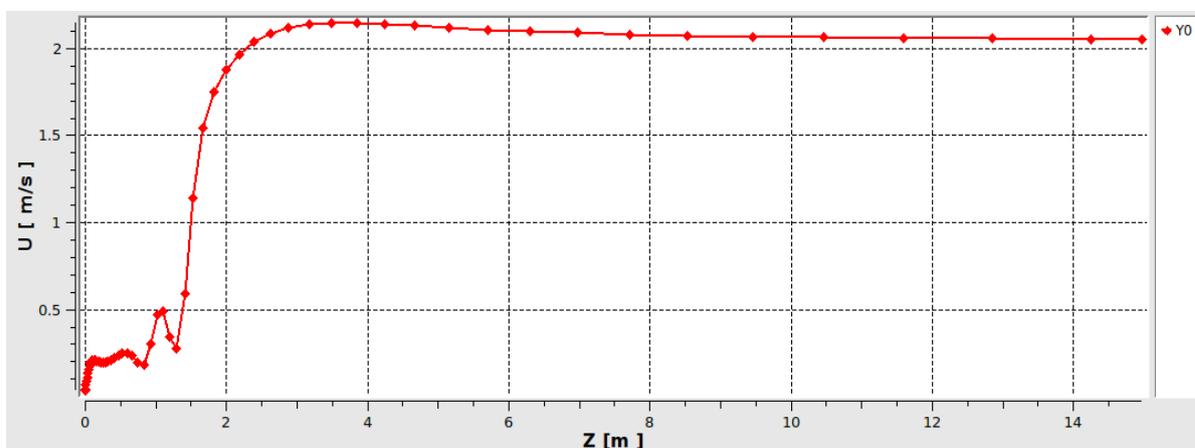
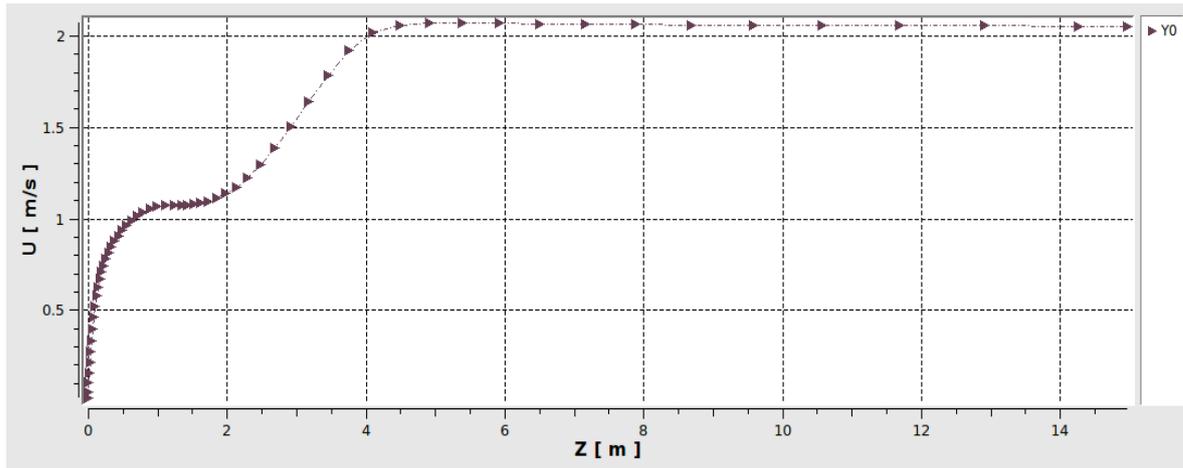
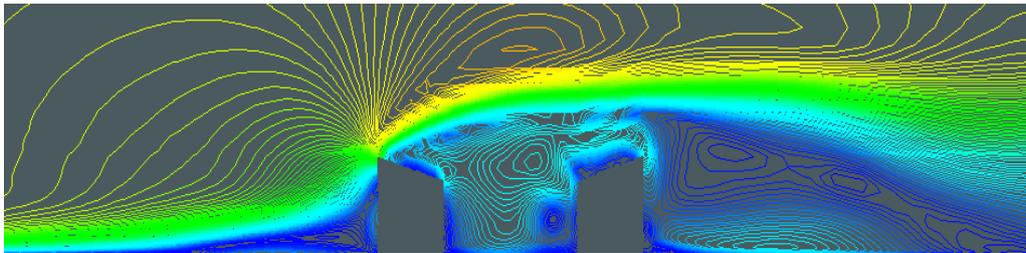


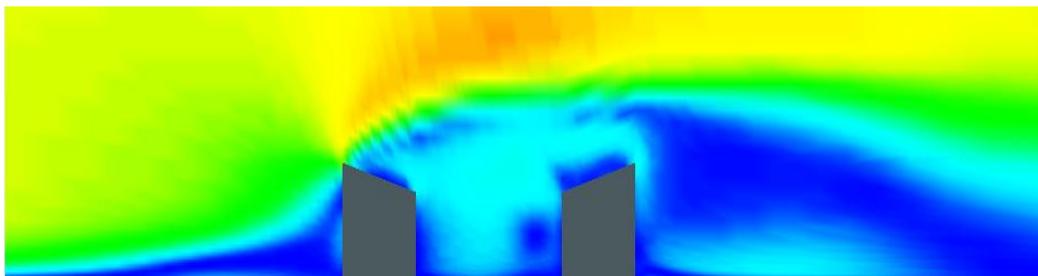
Fig. 65 - Profils de vitesse Entre les bâtiments (face-à-face)



**Fig. 66- Profils de vitesse à la sortie (face-à-face)**



**Fig. 67 -coupe verticale de champ iso vitesse (face-à-face)**



**Fig. 68 -coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (face-à-face)**

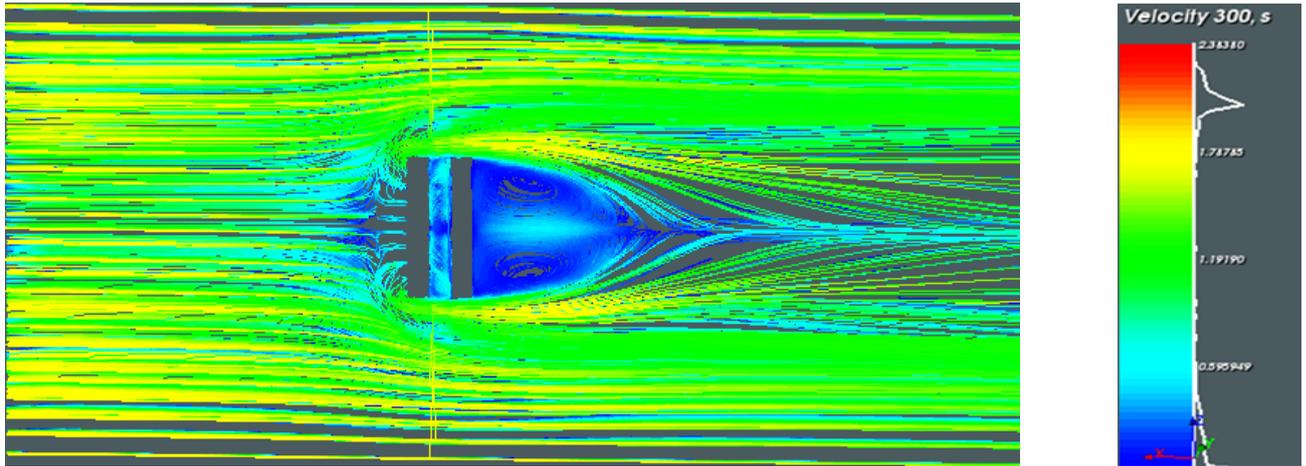


Fig. 69 -Lignes de courant du champ de vitesse horizontal (face-à-face)

#### 4.6.3.2 Toit en forme (face-à-face)

La dynamique dans la rue a été observée avec des configurations à peu près similaires. Il y a également une circulation dans le sens des aiguilles d'une montre. La circulation du vortex est déformée et déplacée vers le toit du bâtiment en contre-bas, qui semblait être au centre du canyon de la rue. La vitesse la plus élevée est observée et, où la vitesse la plus basse. La vitesse horizontale minimale est observée près du canyon.

#### 4.6.4 Toit incliné

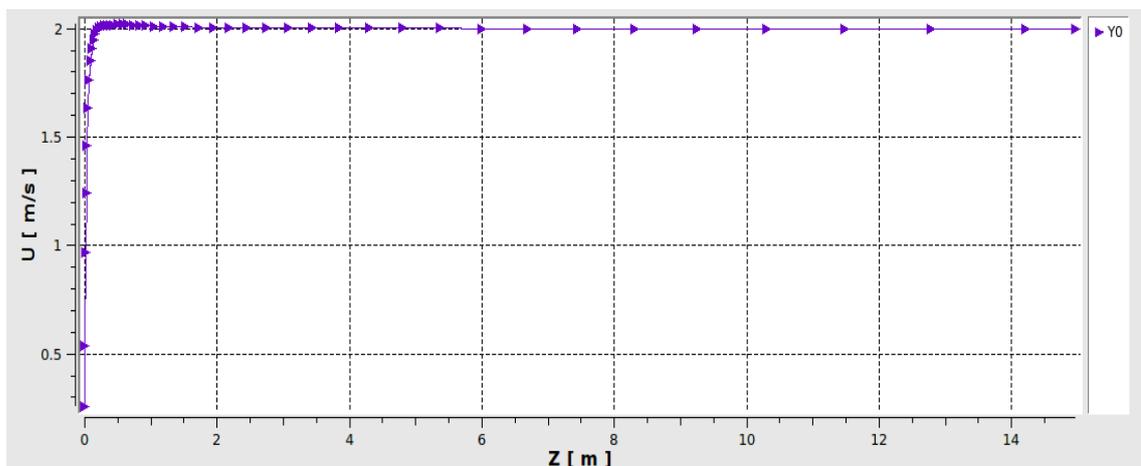
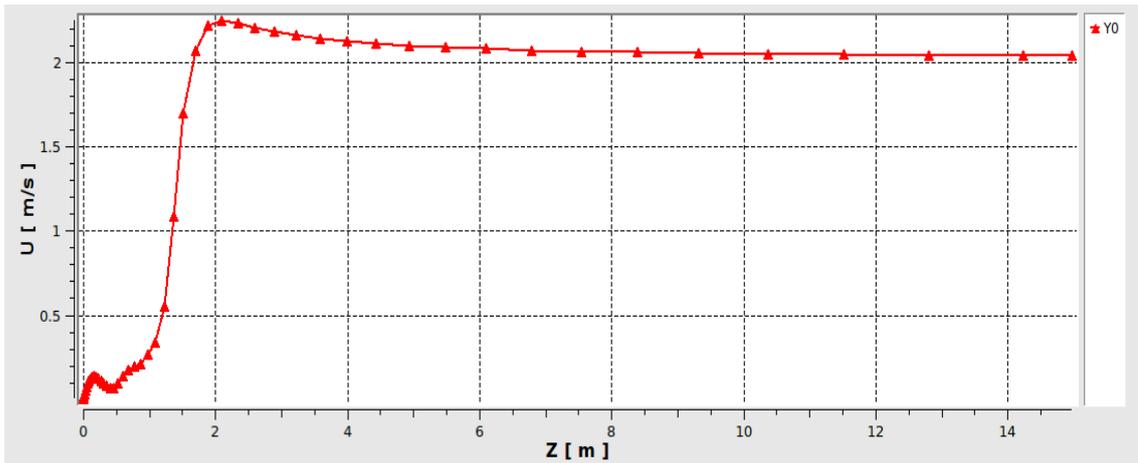
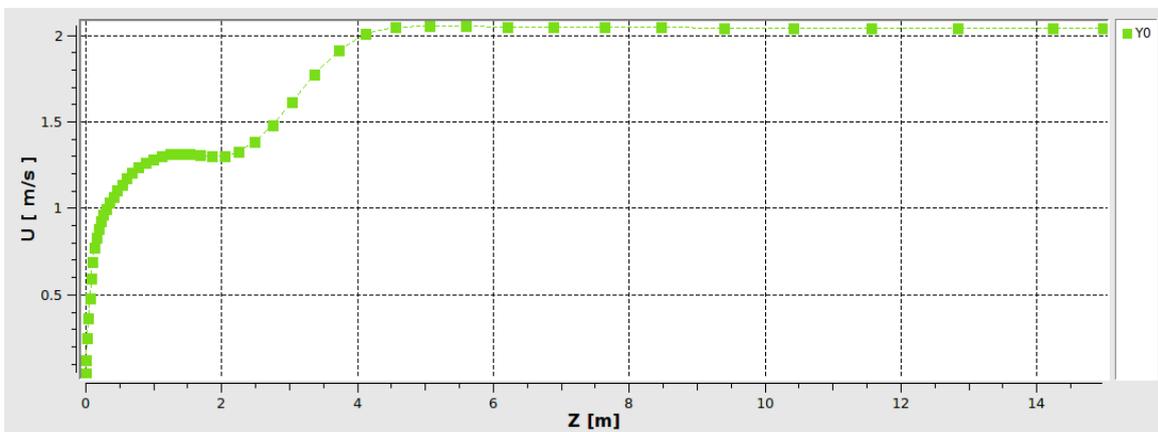


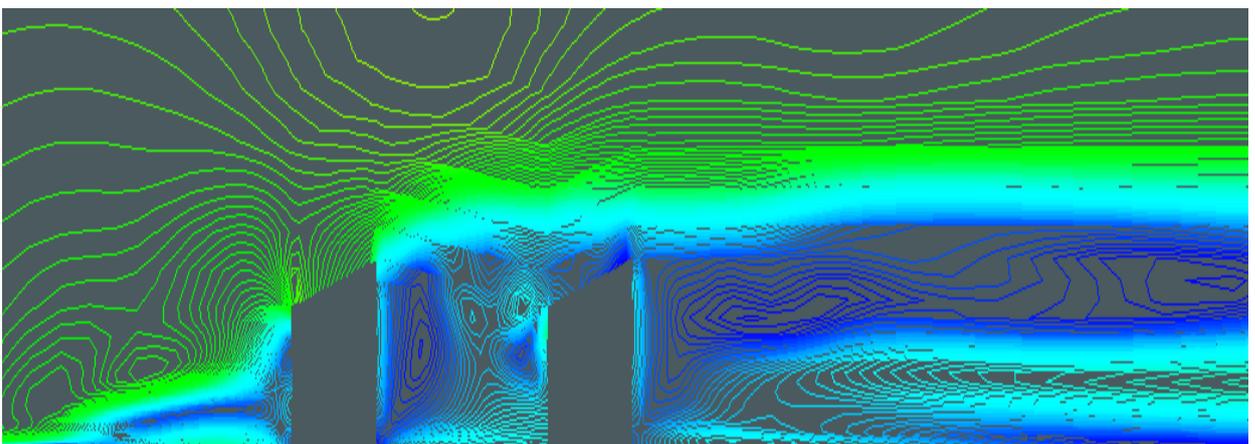
Fig. 70- Profils de vitesse à l'entrer (Toit incliné)



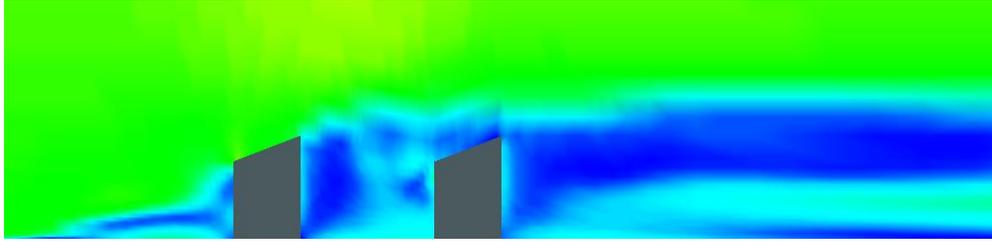
**Fig. 71 - Profils de vitesse Entre les bâtiments (Toit incliné)**



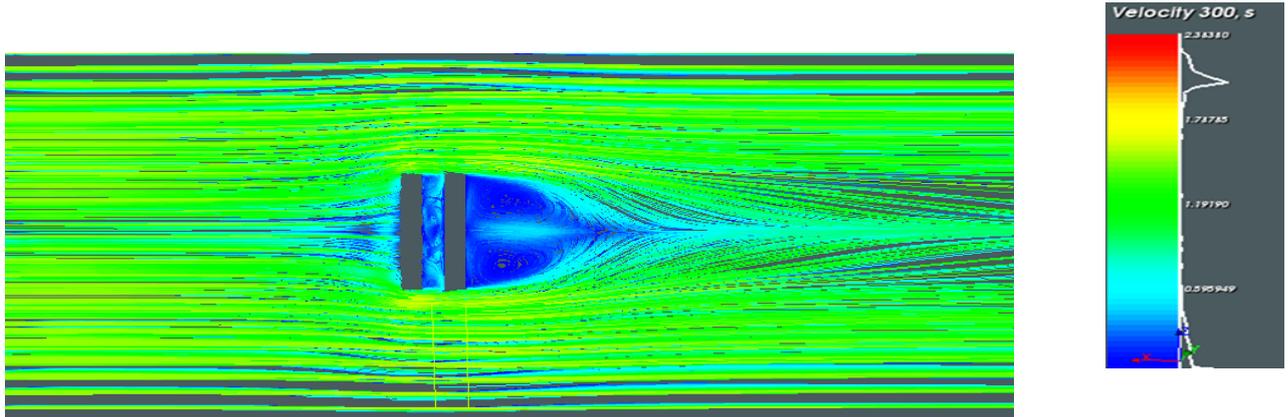
**Fig. 72 - Profils de vitesse à la sortie (Toit incliné)**



**Fig. 73 - coupe verticale de champ iso vitesse (Toit incliné)**



**Fig.74 -coupe verticale des lignes de contour de la vitesse du vent (Toit incliné)**

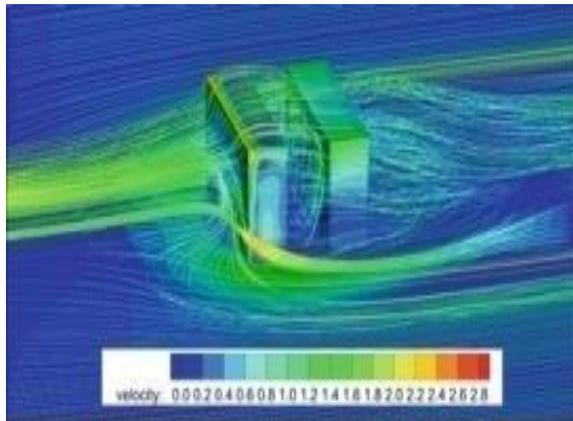


**Fig. 75 -Lignes de courant du champ de vitesse horizontal (Toit incliné)**

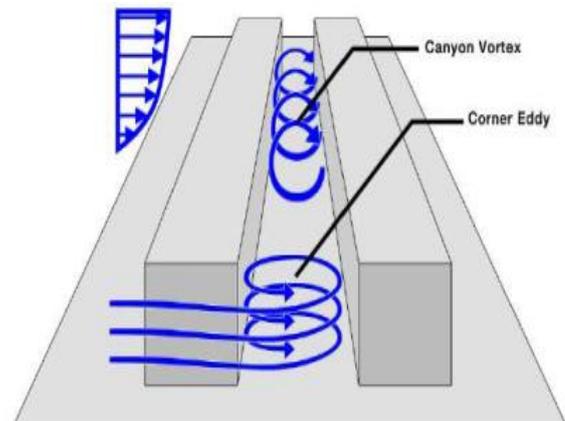
#### **4.6.4.1 Toit incliné**

Les distributions d'écoulement sont similaires à celles du toit en forme de tôle. La vitesse la plus basse est observée près de la région inférieure au centre de la rue. La vitesse la plus élevée est observée ans la région supérieure la rue. Il y a une circulation tourbillonnaire. La circulation des vortex est apparue vers le haut dans la région supérieure près de la partie centrale.

#### 4.7. Lignes de courant 3D



(a)  $V=2$



**Fig. 76- Lignes de courant 3D [69].**

La (figure 76) montre la 3D, Il est évident que le vent qui approche est bloqué par le coin supérieur du bâtiment. Puis les flux d'air divergent dans trois directions, à savoir, s'écoulant vers le haut, s'écoulant vers le bas et s'écoulant latéralement. Les flux de toit séparés et rattachés se trouvent au-dessus de la rue, l'air s'écoule vers le bas dans le canyon, la circulation dans le canyon ainsi formé. La circulation de tourbillon dans le canyon ainsi formé. En plus, il montre que les vortex peuvent également être trouvés derrière les bâtiments, malgré l'ampleur de la vitesse de rotation est relativement faible, ce qui implique la capacité de ventilation de l'air ici est un peu pauvre. Bien sûr, lorsque la vitesse du vent approche, les conditions de ventilation derrière les bâtiments sont améliorées dans une certaine mesure, mais pas vraiment évident. En plus, les régimes de débits moyens sont presque les mêmes avec la vitesse du vent croissante, ce qui indique que les caractéristiques du débit 3D dépendent moins de la vitesse du vent qui approche. Pourtant, les caractéristiques de la turbulence autour de deux bâtiments et des canyons de la rue ne sont pas entièrement reproduites dans les approches RANS, comme le tourbillon en fer à cheval des flots latéraux et l'excrétion par vortex rapportée par Réf. [69].

## Conclusion

Différentes combinaisons de formes de toits de bâtiments dans un Streets-canyon 2-D isolé, idéalisée ont été étudiés. L'impact de la variabilité de la forme du toit et de la hauteur du toit sur la dispersion du flux et des polluants dans la rue a été étudié en utilisant (le modèle de turbulence  $k-\omega$  SST). L'étude actuelle indique clairement qu'il y a une influence significative du toit et de la hauteur sur le transport et la dispersion des polluants dans la rue. La vitesse du vent augmente avec le toit plat, le toit incliné et le toit en forme de trapèze, La vitesse du vent diminue à mesure que la hauteur du toit augmente. La concentration de polluants augmente à mesure que la hauteur du toit diminue. La concentration de polluants augmente avec le toit en forme de Flavier, mais diminue avec les toits inclinés et trapézoïdaux. La concentration de polluants dans la rue augmente vers la surface du sol et diminue jusqu'au canyon du toit. La concentration au milieu de la rue peut être beaucoup plus importante que celle à proximité des bords latéraux des bâtiments. On peut en conclure que les bords latéraux ont une forte influence sur les écoulements et les caractéristiques de la dispersion dans les rues.

On peut conclure, que la géométrie du toit a une forte influence sur la ventilation du canyon. En particulier, pour des configurations des toits inclinés. Les valeurs de concentration significativement plus élevées ont été observées au niveau du mur du bâtiment. Ce qui indique la disparition de la recirculation à l'intérieur et un mauvais système de ventilation et la stagnation des polluants à l'intérieur du Streets-canyons. Aussi pour les résultats pour la dispersion des polluants dans des Streets-canyons avec des toits inclinés ont donc démontré, que la modification des géométries des toits a un effet non négligeable. Leurs impacts sur la formation des vortex et la dynamique de l'air est plus grande que le rapport d'aspect d'un Streets-canyon.

# **Conclusions générale**

## Conclusions générale

Ce travail propose une réponse partielle sur la dispersion des polluants d'un traceur passif, à savoir la circulation de l'air dans un Street-canyon. Le choix est porté sur une simulation numérique d'un écoulement de l'air dans un Street-canyon avec une variation du rapport d'aspect et une modification des formes des toits pour évaluer l'influence de l'architecture de la rue, l'approche adaptée permet la détermination de la structure de l'écoulement.

Avoir une modification du toit de l'immeuble, change de manière significative le système de vortex dans la rue et conduit à de plus grandes concentrations de polluants sur le mur (Le coté au vent) et des concentrations plus faibles sur le mur (Le côté sous le vent), au moins pour le premier tiers de la hauteur du bâtiment. Comme conséquence de cette modification du système de vortex, les polluants sont stagnés dans la rue. On conclut, que la géométrie du toit a une forte influence sur la ventilation du canyon.

L'impact de la variabilité de la forme du toit et de la hauteur du toit Construire sur le flux et la dispersion des polluants dans le canyon de la rue a été étudié en utilisant Le modèle de turbulence (k- $\omega$ ) SST. L'étude actuelle indique clairement qu'il y a une influence significative de la toiture hauteur sur le transport et la dispersion des polluants dans le canyon de la rue.

La vitesse du vent augmente avec le toit plat, le toit incliné et le toit en forme de trapèze, mais diminue avec Les toits en forme de coin. La vitesse du vent diminue à mesure que la hauteur du toit augmente. La concentration de polluants augmente à mesure que la hauteur du toit diminue. La concentration de polluants augmente avec le toit en forme de tôle, mais diminue avec les toits inclinés et trapézoïdaux. La concentration de polluants dans le canyon de la rue augmente vers la surface du sol et diminue jusqu'au canyon du toit. Quelques améliorations dans les vitesses verticales et dans la turbulence ont été trouvées.

Toute évidence les structures de la construction urbaine influent fortement sur le transport des polluants à la fois moyen et turbulent. Un vortex de recirculation a été identifié comme caractéristique de la configuration d'écoulement pour les Streets-canyons plutôt étroite et longue à la direction du vent perpendiculaire à l'axe. Il est bien connu que dans de telles conditions des modèles de dispersion urbaine effectuer assez mal et les concentrations de polluants sont généralement surestimées.

Par rapport au cas de référence (avec des toits plats), marqué par la présence d'un vortex unique principal, on remarque que la présence des toits inclinés sur l'immeuble Le côté sous le vent, en général, conduit à un déplacement de ce vortex principal à un haut niveau (entre les toits) et le développement d'un contre vortex occupant la cavité et avec des vitesses moins intenses. Une autre

remarque, à propos des distributions de vitesses, il y'a un déplacement vertical induit par la forme des toits inclinés qui tend à dévier les vitesses. Certaines instabilités de la couche cisailée au niveau des toits sont responsables de la perturbation du mélange. La sensibilité de la couche cisailée par la forme des toits a une influence significative sur la ventilation d'un Streets-canyon. Le cas des toits inclinés montre des valeurs de déformation pour la vitesse verticale près des toits. Cette déformation indique une perturbation du mouvement vertical.

# Bibliographie

- [01]PIERRE V, 1975- La pollution de l'air, effet, moyen de lutte prévention, mesure et détection, Encyclopédie de l'environnement. Collection dirigée par Jean A. Ternisien.
- [02]Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multi sources .Anthony UNG.19 janvier 2004.Université de Paris 7.
- [03]Thibaut G, (1998), « La pollution atmosphérique en milieu urbain (l'exemple de la région parisienne) ». Mairie de Paris : Direction de la Protection de l'Environnement, Service des Pollutions Atmosphériques - Air et Silence.
- [04]Réseaux, .AIR .[http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/intro/1\\_1.htm](http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/intro/1_1.htm).28-02-2018
- [05]These:<https://theses.univ-oran1.dz/document/TH2133.pdf>.24-02-2018
- [06]Sadia Remili. Optimisation des méthodes de modélisation de la pollution du trafic automobile.  
[https://www.memoireonline.com/02/12/5371/m\\_Optimisation-des-methodes-de-modelisation-de-la-pollution-du-traffic-automobile16.html](https://www.memoireonline.com/02/12/5371/m_Optimisation-des-methodes-de-modelisation-de-la-pollution-du-traffic-automobile16.html) :28-02-2018
- [07]Pierre V., 1975- La pollution de l'air, effet, moyen de lutte prévention, mesure et détection, Encyclopédie de l'environnement. Collection dirigée par Jean A. Ternisien.
- [08]Emilion K. 2004- Traitement des pollutions industrielles Eau-Air-Déchet-Sols boues : Ed. Du mode. P177.
- [09]Ramade F., 1995- Elément d'écologie, écologie appliquée 5eme Edition, Paris P 72.
- [10]Guelle D. Et Emmanuel., 1998-Etat de l'air pour l'étude des impacts des transports routiers a proximité des autoroutes .Ed. Ademe144p.
- [11]Hamelin R., Laporte J. Et Ptc A., 2000-Environnement et nuisances .Ed. Clartés 157p.
- [12]FekihAbdellali étude et modélisation de l'écoulement et de la dispersion des polluants.[http://www.univ-usto.dz/theses\\_en\\_ligne/doc\\_num.php?explnum\\_id=445](http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=445) .(P 24) 02-03-2018
- [13]Xie, X., Huang, Z., Wang, J., (2005). Impact of building configuration on air quality in street canyon. Atmos. Environ. 39, 4519–4530.
- [14]A.P.G. Sagrado, J. van Beeck, P. Rambaud, D. Olivari, Numerical and experimental modeling of pollutant dispersion in a street canyon, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90(4 – 5) (2002) 321 – 339.
- [15]M.W. Rotach, S.E. Gryning, E. Batchvarova, A. Christen, R. Vogt, (2004) Pollutant dispersion close to an urban surface - the Bubble tracer experiment, Meteorology and Atmospheric Physics,87(1 – 3) 39 – 56.
- [16]Z. Ning, C.S. Cheung, Y. Lu, M.A. Liu, W.T. Hung, (2005).Experimental and numericalstudy of the dispersion of motor vehicle pollutants under idle condition, Atmos. Environ., 39(40) 7880 – 7893.
- [17]N.M. Said, H. Mhiri, G. Le Palec, P. Bournot, (2005).Experimental and numerical analysis of pollutant dispersion from a chimney, Atmos. Environ., 39(9) 1727 – 1738
- [18] C.Y. Chung, P.L. Chung, A (2007).numerical and experimental study of pollutant dispersion in a traffic tunnel, Environ. Monit.Assess. 130(1 – 3) 289 – 299.
- [19]C.Gromke, B. Ruck, influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon - Experimental investigation of the flow and concentration field, Atmos. Environ., 41(16) (2007) 3287 – 3302.
- [20] Y.J. Jiang, H.Z. Liu, J.G. Sang, B.Y. Zhang, (2007).Numerical and experimental studies on flow and pollutant dispersion in urban street canyons, Advances in Atmospheric Sciences, 24(1) 111 – 125.
- [21]F. Ma, L.R. Huo, H. Xie, H.F. Fan, (2009) .Experimental and numerical simulation of air distribution and microorganism pollutant dispersion in gymnasium, Journal of Central South University of Technology, 16 .38 – 42.

- [22] V. Garbero, P. Salizzoni, L. Soulhac, (2010) .Experimental Study of Pollutant Dispersion Within a Network of Streets, *Boundary-Layer Meteorology*, 136(3) (457 – 487).
- [23] M. Bottema, Urban roughness modeling in relation to pollutant dispersion, *Atmos. Environ.*, 31(18) (1997) 3059 – 3075.
- [24] J. Gotting, C. Winkler, M. Rau, N. Moussiopoulos, G. Ernst, (1997) .Dispersion of a passive pollutant in the vicinity of a U-shaped building, *Int. J. Environ. Pollution*. 8(3 – 6) 718 – 726.
- [25] G. Gross, ASMUS - (1997) .A numerical model for simulations of wind and pollutant dispersion around individual buildings .2. Dispersion modeling and applications, *Meteorol. Z.*, 6(3) (1997) 130 – 136.
- [26] P. Kumar, R.P. Mathur, P.K. Pande, P.N. Godbole, A puff algorithm for predicting pollutant dispersion based on ABL parameterization, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 72(1 – 3) 117 – 125.
- [27] Y. Li, T. Stathopoulos, Numerical evaluation of wind-induced dispersion of pollutants around a building, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 67 – 8 (1997) 757 – 766.
- [28] A. Chabni, P. Le Quere, C. Tenaud, H. Laatar, (1998) Modelling of pollutant dispersion in urban street canyons by means of a large-eddy simulation approach, *Int. J. Veh. Des.* 20(1 – 4) 88 – 95.
- [29] T.L. Chan, G. Dong, C.W. Leung, C.S. Cheung, W.T. Hung, (2002) .Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon, *Atmos. Environ.*, 36(5) 861 – 872.
- [30] M.Y. Tsai, K.S. Chen, C.H. Wu, (2005) .Three-dimensional modeling dispersion in an urban street of air flow and pollutant canyon with thermal effects, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(8) 1178 – 1189.
- [31] B. Blocken, T. Stathopoulos, P. Saathoff, X. Wang, (2008) Numerical evaluation of pollutant dispersion in the built environment: Comparisons between models and experiments, *J. Wind Eng. Ind. Aero dyn.*, 96(10 – 11) 1817 – 1831.
- [32] J.H. Wang, J.L. Niu, X.P. Liu, C.W.F. Yu, (2010) .Assessment of Pollutant Dispersion in the Re-entrance Space of a High-rise Residential Building, Using Wind Tunnel Simulations, *Indoor and Built Environment*, 19(6) 638 – 647.
- [33] Y.S. Liu, G.X. Cui, Z.S. Wang, Z.S. Zhang, (2011) .Large Eddy simulation of Wind field and pollutant dispersion in downtown Macao, *Atmos. Environ.*, 45(17) 2849 – 2859.
- [34] S.J. Mei, C.W. Liu, D. Liu, F.Y. Zhao, H.Q. Wang, X.H. Li, (2016) .Fluid mechanical dispersion of airborne pollutants inside urban street canyons subjecting to multi-component ventilation and unstable thermal Stratification *Science of the Total Environment*, 565 1102 – 1115.
- [35] D. Mei, Q. Deng, M. Wen, Z. Fang, (2016) .Evaluating Dust Particle Transport Performance within Urban Street Canyons with Different Building Heights, *Aerosol and Air Quality Research*, 16 1483 – 1496.
- [36] Y. Li, T. Stathopoulos, (1998) .Computational evaluation of pollutant dispersion around buildings: Estimation of numerical errors, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 77 – 8 619 – 630.
- [37] Louka. P, Belcher. S. E, Harrison. R. G, 2000: Coupling between air flow in streets and the well-developed boundary layer aloft. *Atmos. Env.* Vol.34, pp 2613--2621. Louka.P, Kovar-Panskus.A, Mestayer. P. G, Savory. E, Sini. J. F, Toy. N, 2001: Influence of geometry on the flow and turbulence characteristics within urban street.
- [38] Kastner-Klein. P, Plate. E.J, 1999: Wind-tunnel study of concentration fields in street canyons, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol.33, pp 3973-3979.
- [39] Kovar – Panskus. A Moulinneuf. L, Savory. E, Abdelqari. A, Sini. J-F, Rosant. J-M, Robins.A ,Toy.N , 2001 : A wind tunnel investigation of the influences of solar-induced wall heating on the flow regime within a simulated urban street canyon. *Water Air Soil Pollut.* Vol2, pp 555-571.
- [40] MémoireOnline .[https://www.memoireonline.com/02/12/5371/m\\_Optimisation-des-methodes-de-modelisation-de-la-pollution-du-traffic-automobile17.html](https://www.memoireonline.com/02/12/5371/m_Optimisation-des-methodes-de-modelisation-de-la-pollution-du-traffic-automobile17.html): 13-03-2018

- [41]Assimakopoulos. V, ApSimon. H, Sahm. P, Moussiopoulos. N, 2000: Effects of street canyon geometry on the dispersion characteristics in urban areas, Proceedings of the 16th IMACS World Congress, Lausanne, Switzerland, 21-25 August 2000.
- [42]Kastner-Klein P., Fedorovich E. 2001.A wind tunnel study of organized and turbulent air motions in street canyons [J]. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics, , pp.: 849-861.
- [43]Mémoire. [http://www.univ-usto.dz/theses\\_en\\_ligne/doc\\_num.php?explnum\\_id=2268](http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=2268) :25-03-2018
- [44]CFD Computational Fluid Dynamics.<http://sted.univ-chlef.dz/index.php/home-en/madule/81-demo/90-webinar-cfd.20-03-2018>
- [45]Mécaniquedesfluides,numérique.[https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique\\_des\\_fluides\\_num%C3%A9rique](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_des_fluides_num%C3%A9rique).23-03-2018.
- [46] Wikipedia.fr.<http://wikipedia.fr/Resultats.php?q=Stokes%20John&lang=fr&projet=article> 09-03-2018
- [47]Dynamique des fluides réels : [https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/cours\\_elaziouti\\_AEK.pdf](https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/cours_elaziouti_AEK.pdf)-18-03-2018
- [48] Serge Piperno, Systèmes hyperboliques instationnaires et méthodes de type DG, (Cermics - ENPC), 2007
- [50] Introduction to CFD Basics,<http://dragonfly.tam.cornell.edu/teaching/mae5230-cfd-intro-notes.pdf>-24-03-2018.
- [51] Applied Computational Fluid Dynamics <http://www.bakker.org/dartmouth06/engs150/01-intro.pdf>.22-03-2018
- [52] David H. Porter 2008.Introduction ;To ,FLUENT  
[https://www.msi.umn.edu/sites/default/files/FLUENT\\_tutorial\\_2008aug14fin.pdf](https://www.msi.umn.edu/sites/default/files/FLUENT_tutorial_2008aug14fin.pdf) :13-04-2018
- [53]Launder, B.E., G.J. Reece, and W. Rodi, 1975 : Progress in the development s of a Reynolds-Stress turbulence closure.J. Fluid Mechanics, 68 , 537-566.
- [54]Simulation 2D et 3D des écoulements cavitants. RezkiChebli.<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01204605/document>:13-04-2018.
- [55]SINI J. F. Pollution dispersion and thermal effects in urban street canyon [J]. AtmosphericEnvironment, 1996, 30(15): 2659-2677.
- [56] F., R., Menter, «Two-equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for EngineeringApplications,» AIAA Journal, vol. 32, n° %18, 1994.
- [57] C. Speziale., S. Sarka., T.Gatski. «Modeling the pressure-strain correlation of turbulence: an invariant dynamical systems approach,» Journal of Fluid Mechanics, pp. 227 :245–272, 1991.
- [58]Andrea V , Roberto R, Simone B,2014.NumericalStudy of Urban Canyon MicroclimateRelated to GeometricalParameters.Sustainability 2014, 6(11), 7894-7905
- [59]Ubuntu.sensagent. <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Ubuntu/fr-fr/>:02-04-2018
- [60]ZaReasonOraclenerd . <http://www.oraclenerd.com/2010/11/investing-in-me.html>:06-04-2018
- [61] Linux Ubuntu .<https://ordinateur.ooreka.fr/comprendre/linux-ubuntu>:20-04-2018
- [62] Spécial Linux .<http://www.global-informatique-securite.com/2018/05/qu-est-ce-que-linux.html>:16-04-2018
- [63]Unionpédia Communication. <https://fr.unionpedia.org/i/Gmsh>: 21-04-2018
- [64]Nicolas Kielbasiewicz,Introduction `a Gmsh.<http://perso.ensta-paristech.fr/~kielbasi/docs/gmsh.pdf>.23.04.2018
- [65] Présentation de SALOME:<http://free-cfd-workflow.blogspot.com/2015/09/presentation-de-salome.html> :12-04-2018
- [66]Code\_Aster, solveur de mécanique. <https://www.projet-plume.org/fiche/salome>:09-04-2018
- [67] Modules principaux . <https://www.salome-platform.org/user-section/about> :11-04-2018
- [68]prace.web.site, «<http://www.prace-ri.eu/>,» [En ligne].
- [69] Y. Tominaga, T. Stathopoulos. CFD simulation of near- field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques. Atmosphérique environnement. 79 (2013) 716 – 30.

- [70] Ramade F, (2000), « les polluants de l'environnement et de l'homme » dictionnaire encyclopédique des pollutions, Edi science international, Paris, pp.13, 33.
- [71] These.ThibaultHarribey. [https://depozit.isae.fr/theses/2011/2011\\_Harribey\\_Thibault.pdf](https://depozit.isae.fr/theses/2011/2011_Harribey_Thibault.pdf).25-04-2018
- [72] CFD.Modeling.of.Turbulent.Flows.[http://player.slideplayer.com/download/23/6599030/wj3FaCYOqY3DuVRVj\\_40Xw/1527863402/6599030.ppt](http://player.slideplayer.com/download/23/6599030/wj3FaCYOqY3DuVRVj_40Xw/1527863402/6599030.ppt).02-05-2018
- [73] Bardina, J.E., Huang, P.G. and Coakley, T.J., "Turbulence Modeling Validation Testing and Development", NASA Technical Memorandum 110446, 1997. (See also Bardina, J.E., Huang, P.G. and Coakley, T.J., "Turbulence Modeling Validation", AIAA Paper 97-2121.)
- [74] Mémoire.[https://bu.univ.ouargla.dz/master/pdf/Analyse\\_et\\_simulation\\_de\\_refroidissement\\_des\\_aubes\\_dune\\_turbine\\_a\\_gaz.pdf](https://bu.univ.ouargla.dz/master/pdf/Analyse_et_simulation_de_refroidissement_des_aubes_dune_turbine_a_gaz.pdf)- 28-04-2018
- [75] Serge PIPERNO, Systèmes hyperboliques instationnaires et méthodes de type DG, (Cermics - ENPC), 2007

## Résumé

Dans le but d'étudier l'effet de la forme des bâtiments et leurs dispositions sur la dynamique

du vent et la ventilation entre les bâtiments, une série de simulations a été lancée. Cette simulation est lancée en utilisant le GMSH comme pré-processing (création de géométrie et génération de maillage), le (Code Saturne) pour poste processing avec une modélisation de type (RANS), le modèle de turbulence (k- $\omega$  SST) et le (Salome) pour traiter les résultats. Trois cas différents de géométries ont été traités avec le changement de la forme du toit et la disposition des bâtiments. L'effet de renouvellement de l'air emprisonné entre les bâtiments est très claire de tel façon que le cas le plus favorable et celui où le toit est horizontal, par contre les bâtiments avec toiture inclinée favorise la stagnation de l'air, cela est due à la naissance de la turbulence sous enfermés d'une ou plusieurs recirculations dynamiques.

La géométrie du toit a une forte influence sur la ventilation de la rue. Dans le cas des toitures en pente, un faible débit a été observé au niveau de la rue, ce qui implique une limitation de la recirculation à l'intérieur et un mauvais système de ventilation. Les résultats de la géométrie modifiée des toits ont un effet considérable. Leur impact sur la formation de la dynamique du vortex et de l'air est plus important que l'effet du rapport d'aspect. La comparaison entre nos résultats et les résultats expérimentaux et numériques obtenus par le biais d'une série de projets et d'autres recherches sont généralement acceptés.

**Mots clés:** rue canyon, ventilation, simulation, turbulence.

## ملخص

مناجدر اساتأثير شكل المباني وتخطيطها على ديناميكية الرياح والتهوية بين المباني، تم إطلاق سلسلة من عمليات المحاكاة يتم تشغيلها من حاكاة باستخدام (GMSH) كمعالجة مسبقة (إنشاء الهندسة وتوليد الشبكات) ، و (Code Saturne) للمعالجة اللاحقة بنمذجة النوع (RANS) ، ونموذج الاضطراب (k- $\omega$  SST) و (Salome) لمعالجة النتائج.. تأثير تجديد الهواء المحصور بين المباني واضحة للغاية حيث تكون الحالة الأكثر ملائمة حيث يكون السقف أفقياً، من ناحية أخرى، فإن المباني ذات الأسقف المنحدرة تفضل كود الهواء، وهذا يرجع إلى ولادة الاضطراب واحتغاط واحد أو أكثر من عمليات إعادة الدوران الديناميكية.

لهندسة السقف تأثير قوي على تهوية الشارع. في حالة الأسطح المنحدرة ، لوحظ تدفق ضعيف على مستوى الوادي في الشارع ، مما يعني وجود قيود على إعادة الدوران في الداخل ونظام سيء للتهوية. نتائج الهندسة المعدلة للأسقف لها تأثير كبير. تأثيرها على تشكيل دوامة وديناميكية الهواء أكبر من تأثير نسبة العرض إلى الارتفاع. إن المقارنة بين نتائجنا والنتائج التجريبية والعديد التي تم الحصول عليها من خلال مجموعة من المشاريع والبحوث الأخرى متفق عليها بشكل عام.

**كلمات البحث:** شارع الوادي، التهوية، المحاكاة، الاضطراب

## Summary

In order to study the effect of the shape of buildings and their layout on wind dynamics and ventilation between buildings, a series of simulations has been launched. This simulation is launched using the GMSH as pre-processing (creation of geometry and mesh generation), The (Saturn Code) for post processing with type modeling (RANS), the turbulence model ( $k-\omega$  SST) and the (Salome) to process the results. Three different cases of geometries have been treated with the change of the shape of the roof and the layout of the buildings. The effect of renewal of air trapped between buildings and very clear in such a way that the most favorable case and one where the roof is horizontal, on the other hand, buildings with sloped roofs favor the stagnation of the air, this is due to the birth of the turbulence under one or more dynamic recirculation.

The geometry of the roof has strong influence on the ventilation of the street-canyon. In the case of the sloping roofs, a weak flow was observed on the level of the street-canyon, which implies a limitation of recirculation inside and a bad system of ventilation. The results of the modified geometry of the roofs have a considerable effect. Their impact on the formation of vortex and air dynamic is larger than the aspect ratio effect. The comparison between our results and the experimental and numerical results obtained by through a range of projects and others search are agreed, in general.

**Mots clés:** rue canyon, ventilation, simulation, turbulence.

# L'effet de la forme et la disposition des bâtiments sur la dynamique de l'écoulement

BenyahiaBelkraoua, Abdelkrim Benlefki

Centre universitaire EL-wancharissi de tissemsilt, Algérie

