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

UNIVRSITÉ Dr Yahia FARES De Médéa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de Matière



Mémoire de Projet de Fin d'Etude
Pour l'obtention du diplôme Master
en Génie Mécanique
Option : Énergétique et Thermique des Systèmes

Thème

Etude de la distribution d'un polluant dans un canal possédant des obstacles

Proposé et dirigé par :

Dr. ALLICHE Mounir

Co-promoteur : Dr. KORICHI Abdelkader

Présenté par :

M^{ELLE} : BOUKOFTANE Amina

M^{ELLE} : GHERABLI Faiza

Promotion 2014/2015

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

Que nos chers parents et familles, trouvent ici l'expression de nos remercîments les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutiens morales et encouragements.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à notre encadreur, Monsieur ***Dr. ALLLICHE Mounir***, pour ses conseils, ses remarques, sa grande disponibilité et son aide permanente au cours de ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement monsieur ***Dr. KORICHI Abdelkader****, notre Co-promoteur pour ses conseils, son assistance son suivi et son soutien.*

Nos remercîments les plus vifs s'adressent aussi aux Messieurs, le président et membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à tous ***les professeurs et enseignants*** qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin.

Enfin nous remercions monsieur ***REBHI Redha****,*
sans oublier
Tous ceux qui de près ou de loin, nous ont prodigués leurs encouragements et Nous ont offert leur soutien.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chères parents, pour leurs soutient moral et financier, d'être la lumière de ma vie et qui m'ont toujours encouragés pour poursuivre mes études supérieures avec patience, je leur espère une longue vie et que Dieu les gardes.

A mes charmants frères « Fouzi, Fouad, Farouk » ainsi que mes belles sœurs « Wafaa et Fahima »

A mon binôme Amina, sa famille, mes ami, Nassiba, Amina S, Amina K, Hasna,Maria, Fatiha, Fatima, Zinebet tout le groupe d'énergétique promo 2015.

Et enfin à toute la famille Gherabli

« Gherabli Faiza »

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chères parents, pour leurs soutient moral et financier, d'être la lumière de ma vie et qui m'ont toujours encouragés pour poursuivre mes études supérieures avec patience, je leur espère une longue vie et que Dieu les gardes.

A mes charmants frères « Walid, Mouhamed amine, Oussama » ainsi que mes amies intime
« Fella et Hasnaa »

A mon binôme Faiza, sa famille, mes cousine : Meriem, Sara, Souad, Wahiba, Amel, mes amie : Maria, Fatiha, Fatima, et tout le groupe d'énergétique promo 2015.
Et enfin à toute la famille Boukoftane et Ghezali

« Boukoftane Amina »

SOMMAIRE

Dédicace
Remerciements
Nomenclature
Liste des Figures
Liste des Tableaux

Introduction ……......1
But de travail…….....4
Plan de l'étude……...….4

CHPITRE 1 : Généralités sur la distribution d'un polluant dans un canal possédant des obstacles.

I.1. La pollution : ……....……5
I.2. Principales sources de la pollution ……..…5
I.3. Dispersion d'un polluant :……...……6
I.4. Les modèles de dispersion:……....……6
I.5. Passage d'un régime à l'autre :……....……7
I .5.1. Modèles de turbulence :……...…8
I.5.2. Le modèle de k-Ɛ :……...…….9
I.5.3. Les conditions aux limites :…….……10

Chapitre II : Formulations Mathématiques

II.1. Modèle mathématiques :……...……11
II.1.1. Equation de conservation de continuité :……...……12
II.1.2. Equation de quantité de conservation de mouvement:……..…….13
II.1.3. Equation de conservation de l'énergie:…….……13
II.1.4 Equation de transport d'espèces :……....…13
II.2. Règles de Reynolds :……..…14

II.2.1 .Les tensions de Reynolds :…….....15

II.3. Modèle de turbulence……16

II.3.1. Classes de modèles :……...……16

II.3.2 Modèle de turbulence K-ε (les équation):……...…17

II.3.3 Modèle de turbulence K-w :……...…18

Chapitre III : Présentation des outils de Simulation.

III.1 - Introduction :……..19

III.2- Présentation du logiciel CFX 14.0 :…….…19

III.2.1 - Le Mailleur ICEM :……19

III.2.1.1 - Nomenclature de la géométrie :……19

III.2.1.2 - Etapes d'utilisation d'ICEM CFD :……...…20

III.2.1.2.1 .Charger ICEM CFD par introduction de la commande :…….....20

III.2.1.2.2.Créer la géométrie :…….....21

III.2.1.2.3.Créer les points :…….……21

III.2.1.2.4. Création des courbes:……...…24

III.2.1.2.5 .Créer le bloc :……...……27

III.2.1.2.6 .Assigner la distribution nodale le long des bords de bloc :……31

III-2.1.2.7.L'enregistrement : ……...…34

III.2.2.Écrire la maille à un dossier d'entrée pour CFX pre :…….....35

III. 3 - Ansys CFX :…….37

III.3.1 - CFX-Pre :……...39

III.3.1.1 - La configuration :……39

III.3.2 - CFX-Solver : (La résolution)…….43

II.3.3 - CFD-Post : (La solution)……44

Chapitre IV : Configuration et sensibilitéau maillage

IV.1 _ Introduction :……..49

IV.2 _ Sensibilité au maillage :…….…49

IV.2.1-Maillage avec l'ICEM :…….....49
IV.2.2 _ Tableau des positions du 1er nœud :……..….50
IV.2.3 _ Les graphes de Y plus :……...50
IV.2.4 _ Tableau des nombres des nœuds :……...…..52
IV.2.5 _ Le graphe de vitesse :…….53
IV.2.6 _ Le graphe de pression :…….…..53

Chapitre v : Résultats et discussions

V .1 .Introduction :……55
Partie A : Etude de l'écoulement dans un canal avec deux obstacles……..….55
A-1. Condition aux limites :……..…55
A-2.Etude paramétrique:…….....55
A-2-1.Effet de choix de modèle de turbulence k-Ɛ :……..…55

- **Effet de l'intensité de la vitesse (uniforme):…… ……...…55**
  1- Les contours :..... 56
  - Contour de vitesse V:……56
  - Contour de pression P :……56
  - Contour de dissipation Ɛ :……56
  - Contour de turbulent K :……...…56
  - Stream line :……..……57

  2- Les graphes :…….……57
  - Les graphes de vitesse :……57
  - Les graphes de pression :……..…59
  - Les graphes de la dissipation Ɛ :…….…..60
  - Les graphes de la turbulent K :…….……...61
  - Discussion des figures avec vitesse uniforme :……62
- **Effet de l'intensité de la vitesse (avec équation de poiseuille)**:……..…63
  1- Les contours :……63
  - Contour de vitesse V:……63
  - Contour de pression P :……63
  - Contour de dissipation Ɛ :……63

- Contour de turbulent K :……...63
- Stream line :……..64

2- Les graphes :…….....…64

- Les graphes de vitesse :…….....64
- Les graphes de pression :……..65
- Les graphes de la turbulent K :…….…66
- Discussions des figures avec vitesse poiseuille……67

Partie B : Etude de l'écoulement dans un canal avec deux obstacles possédant un polluant CO…….……68

- Définition de CO :…… ……..……....68

B-1. Condition aux limites :……..…68

B-2.Etude paramétrique:……...69

_ Effet de l'intensité de la vitesse :…….....…….69

1- Les contours :…….……...……69

- Contour pour Vair=cste=3 m/s et Vco=Variable :……...……69

a. Contour de vitesse……69
b. Contour de volume fraction :……70
c. Contour de turbulent K pour CO :……...….71
d. Stream line :……..……71

- Contour pour Vco=cste=2 m/s et Vair=Variable :……..…72

a. Contour de vitesse……72
b. Contour de volume fraction :……73
c. Contour de turbulent K pour CO :…….....74
d. Stream line :……..74

2- Les graphes :……75

- Les graphes de vitesse ……..…75

1-Vair=3m/s = cste : et Vco=variable ……..76

- Les graphes de volume fraction ……...77

1-Vair=3m/s = cste : et Vco=variable……...…77

2-Vco=2m/s = cste : et Vair=variable……...……79

- Discussions des figures avec vitesse (air- CO) poiseuille…….……81

V.2. zone de recirculation……82

V.2.1.Tableau du rattachement……82

V.2.2.les graphes……..83

- Discussions des les figures de la zone de recirculation……83

Conclusion générale : 85

Références bibliographiques

NOMENCLATURE

➢ Symboles

H	Hauteur du canal	m
$C_{1\varepsilon}$; $C_{2\varepsilon}$;Cμ	constantes	
G :	accélération	m/s²
G_K :	terme de production de l'énergie cinétique turbulente	kg/m.s ^{3}
P :	pression	Pa
$U_{i\ (i=1,2,3)}$	Composante la vitesse instantanée suivant la direction i	m/s
$\overline{U}_{i\ (i=1,2,3)}$	Composante de la vitesse moyenne suivant la direction i	m/s
U_i'	Composante de la vitesse fluctuante suivant la direction i	m/s
K	énergie cinétique turbulente	m²/s²
L	échelle de longueur des grosses structures de turbulence	m
Re	nombre de Reynolds	
$\overline{U\imath' Uj'}$	Tension de Reynolds	m²/s²
G et K	rapports d'espace	

➢ Notations grecques

ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	m^2/s^3
μ	viscosité dynamique	kg/ms
μ_t	dynamique turbulente	kg/ms
ν	viscosité cinématique	m^2/s
ν_t	viscosité cinématique turbulente	m^2/s
ρ	masse volumique	kg/m
τ	taux de cisaillement	kg/m^2
σ_K ; σ_ε	nombres de Prandtl turbulent associés à K et ε respectivement	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Phénomènes induits par la transition naturelle…….....…8

Figure III- 1 : géométrique 2D…….....19

Figure III.2 : géométrie du problème et conditions aux limites…….....…38

Figure IV.1 : géométrie en 3D…….....…49

Figure IV.2 : Maillage Centre grossier (nombre des nœuds=181600)…….....…….49

Figure IV. 3: Influence du maillage sur le profil de Y plus pour les Cinq Maillage ……..52

Figures IV.4 : Influence du maillage sur les vitesses……...…53

Figures IV.5: Influence du maillage sur les pressions ……...….53

Figure V.1.Géométrie en 2D avec les conditions aux limites……..…55

Figure V.2. Les contours des vitesses V= (0.43, 4,7) m/s.....56

Figure V.3. Les contours des pressions V= (0.43, 4,7) m/s……...……..56

Figure V.4. Les contours des turbulents K, V= (0.43, 4,7) m/s……...….56

Figure V.5. Les Stream line V= (0.43, 4,7) m/s……..…57

Figure V- 6 : profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (y)…….....58

Figure V.7. Profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (x)…….....58

Figure V- 8: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)….59

Figure V- 9: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)….59

Figure V- 10: profils des dissipations pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)…….60

Figure V- 11: profils des dissipations pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)…….60

Figure V- 12: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (Y)…….61

Figure V- 13: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)……..….61
Figure V.14. Les contours des pressions V= (0.43, 4,7) m/s……63
Figure V.15. Les contours des turbulent K, V= (0.43, 4,7) m/s……63
Figure V.16. Les Stream line V= (0.43, 4, 7) m/s……64
Figure V- 17: profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (y)……64
Figure V- 18: profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (x)……64
Figure V- 19: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y).....65
Figure V- 20: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)……..65
Figure V- 21: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)…….....….66
Figure V- 22: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)……..…..66
Figure V.23.Géométrie en 2D avec un polluant et les conditions aux limites……68
Figure V.24. Contours vitesse de l'air et CO (Vair=3 m/s et Vco= 0.43 m/s)…….69
Figure V.25. Contours vitesses de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=1 m/s)……...……69
Figure V.26. Contours vitesses de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=2 m/s)……...69
Figure V.27. Contours de volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=0.43 m/s)..70
Figure V. 28. Contours de volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=1 m/s)….70
Figure V.29. Contours volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=2 m/s)……...70
Figure V.30. Contours de turbulent K de CO (Vair=3 m/s)…….71
Figure V.31. Stream line de CO pour Vair= 3 m/s et (Vco=0.43, 1, 2 m/s)……71
Figure V.32. Contours vitesse de l'air (Vco=2 m/s et Vair= 0.43 m/s)……...72
Figure V.33. Contours vitesse de l'air et de CO (Vco=2 m/s et Vair= 2m/s)……..72
Figure V.34. Contours vitesse de l'air et de CO (Vco=2 m/s et Vair= 7 m/s)……72
Figure V.35. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=0.43 m/s)…….73
Figure V.36. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=2 m/s)……..73
Figure V.37. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=7 m/s)……..…73

Figure V.38. Contours de turbulent K de CO (Vco= 2m/s)…….....74

Figure V.39. Stream line de CO pour Vco= 2 m/s ET (Vair=0.43, 2, 7 m/s)…….….74

Figure V.40 : graphe Vco=f(x)……..…..76

Figure V.41. Le graphe Vco=f(x)…….…...76

Figure V.42. Le graphe Vco=f(y)……...….76

Figure V.43. Le graphe Vco=f(y)……...….77

Figure V.44. Le graphe de Volume fraction=f(x)…….…..77

Figure V.45. Le graphe de Volume fraction=f(x)…….…..78

Figure V.46. Le graphe de Volume fraction=f(y)……...……78

Figure V.47. Le graphe de Volume fraction=f(y)……..…….79

Figure V.48. Le graphe de Volume fraction=f(x) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s……..79

Figure V.49. Le graphe de Volume fraction=f(x)pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s……..…80

Figure V.50. Le graphe de Volume fraction=f(y) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s……..80

Figure V.51. Le graphe de Volume fraction=f(y) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s.….....81

Figure V. 52. Représente la distribution de la longueur de rattachement en fonction de la vitesse…….....82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Les coordonnées de la géométrie…….....……22

Tableau III.2 : L'attachement des pointes …….....25

Tableau IV-1 : Les coordonnées des positions du 1er nœud…….....…50

Tableau IV- 2: Les coordonnées des Maillage……..…….52

Tableau V- 1: Les coordonnées des stations de mesure (lignes)……..……..57

Tableau V- 2: Les coordonnées des stations de mesure (lignes)……..……..75

Tableau V- 3: la valeur de la longueur de rattachement pour chaque vitesse……...…….82

Titre :

Etude De La Distribution D'un Polluant Dans Un Canal Possédant Des Obstacles

Résumé :

La modélisation numérique de l'écoulement de l'air et en particulier la dispersion de particules (polluants) en milieu urbain a sensiblement progressé ces dernières années. La représentation de tels phénomènes fait appel actuellement à des outils largement utilisés afin de simuler ces procédés mécaniques régissant en particulier la pollution de l'air dans des géométries complexes. L'approche CFD (Computationnel Fluid Dynamics) est une technique largement utilisée pour produire des simulations détaillées de tel écoulement turbulent dans une canopée urbaine. Cependant, plusieurs études ont indiqué que les modèles RANS, et en particulier le modèle k-Ɛ, sont sensibles à la forme particulière des profils d'entrée et de l'intensité de la vitesse d'entrée. Dans la présente étude, des simulations de l'écoulement de l'air et de la dispersion d'une particule CO dans un canyon d'une rue idéalisée ont été réalisées en utilisant le modèle standard de turbulence k-Ɛ et en utilisant le logiciel Ansys CFX. Le but de cette étude est de tester la performance du modèle standard k-Ɛ en modifiant les paramètres du modèle selon la forme choisie de profils d'entrée pour la vitesse et de la turbulence.

Mot des clés : Ecoulement turbulent, Distribution de polluant, CFD

Title:

Study On Distribution Of pollutant In A Chanel with Obstacles

Abstract:

Numerical modeling of the air flow and particles dispersion (pollutants) in urban areas has increased significantly in recent years. The representation of such phenomena is actually performed using tools widely used to simulate these mechanical processes regulating in particular the air pollution in complex geometries. The CFD approach (Computational Fluid Dynamics) is a technique widely used to produce such detailed simulations of turbulent flow in an urban canopy. However, several studies have indicated that RANS models, and in particular the k-Ɛ model, are sensitive to the particular form of input patterns and the speed of turbulence. In this study, simulations of the air flow and the CO particle dispersion in an idealized street canyon were performed using the k-Ɛ standard turbulence model and use the software Ansys CFX. The purpose of this study is testing the performance of the k-Ɛ standard model by changing the model parameters according to the chosen form of input profiles for velocity and turbulence.

Key words: Turbulent flow, pollutant distribution, CFD

Introduction générale

1. Introduction :

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

Donc, le sillage autour des obstacles est d'un intérêt important dans la pratique. En effet la connaissance des structures turbulentes générées derrière ces obstacles et leurs différents régimes est d'une utilité primordiale dans la conception des ouvrages exposés aux écoulements de fluides. Le choix de l'étude de canal possédant deux obstacles résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques.

Beaucoup de travaux de recherches ont été réalisés pour modeler l'écoulement autour des obstacles. Pour cela, plusieurs expériences dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux méthodes numériques. Pour cette dernière une large gamme de méthodes mathématiques ont été développées afin de s'approcher de la réalité de l'écoulement et de fournir le maximum d'information qui peuvent se produire.

Pour notre cas, on a utilisé le code CFD, qui représente un outil de simulation numérique fort de grande qualité afin de simuler un écoulement autour de deux obstacles différents. Ce code de calcul trouve de plus en plus de place dans différents domaines d'industrie surtout dans l'option des écoulements de fluide et la dispersion d'un polluant.

2. Etude bibliographique et état de l'art :

La recherche est liée directement à l'évolution de la technologie; et c'est ce qui pousse les chercheurs à avancer dans des cas très compliqués et d'actualité susceptibles d'être traités à l'aide d'un outil informatique très puissant et avec des moyens expérimentaux les plus sophistiqués et les plus performants.

Afin d'élargir nos connaissances dans ce domaine, nous avons fait une lecture des autres auteurs qui se résument comme suit :

Raithby et al. (1987)[1] employé le modèle de k-e (avec modification de la valeur cm) pour calculer le débit flottabilité neutre sur la colline Askervein, et comparé leurs résultats numériques avec l'expérience faite sur le terrain réel en Ecosse.

Au Brésil, **Dihlmann (1989)[3]**a étudié numériquement la décharge thermique (des cheminées) dans les environnements stratifiés neutres et stables. Santos et al. (1992) ont appliqué le modèle k-e standard pour simuler la décharge d'une cheminée et de la dispersion du panache correspondant sur un terrain plat.

Dawson et al. (1991)[2] ont également utilisé le modèle de k-e (avec quelques modifications dans les constantes de l'équation de dissipation) pour simuler l'écoulement et de dispersion sur Steptoe Butte (Washington, USA) sous atmosphère neutre et stable stratifié. Leurs résultats ont été favorablement comparés aux données expérimentales, ce qui indique que des modèles mathématiques à l'aide de l'hypothèse de viscosité turbulente dans la fermeture de la turbulence peuvent être utilisées pour prédire l'écoulement et la dispersion des polluants en terrain complexe.

Queiroz et al. (1994)[4] ont appliqué le modèle k-e standard pour étudier (en deux dimensions) l'effet des îlots de chaleur dans la capacité de diffusion atmosphérique.

Koo (1993)[5] a développé un k-ε modifiée non isotrope pour tenir compte des différentes diffusivités de Foucault dans les directions latérales et verticales dans l'atmosphère. Son modèle est dérivé du modèle algébrique des contraintes et a été appliqué à une dimension optimale pour prédire les profils verticaux de vitesse, la température et potentiel variables de turbulence pour l'écoulement horizontal dans une couche limite de l'atmosphère homogène. En outre, le modèle a été appliqué à des problèmes bidimensionnels pour simuler la circulation de brise et la manipulation de la couche limite de l'atmosphère par une barrière thermique. Le modèle de Koo est similaire au modèle de**Mellor et Yamada** (1982) niveau 2,5. Récemment, les données **Castro et Apsley** (1997) par rapport numérique (en utilisant une«modification de dissipation« modèle k-ε, que nommé par les auteurs) et de laboratoire pour les deux flux dimensionnelle et dispersion sur la topographie. Aussi, **BOCON et Maliska** (1997a, 1997b) ont étendu le modèle non isotrope k-ε de Koo (1993) de simuler numériquement l'écoulement et de la dispersion des polluants sur la topographie complexe idéalisée, sous la stratification neutre. Ces résultats numériques ont été comparés aux données expérimentales obtenues à partir d'une simulation en soufflerie.

Des modèles plus sophistiqués, comme le modèle de stress Reynolds, ont également été appliquées à la prévision des flux environnementaux et la dispersions des polluants, par exemple le travail d'**Andrén** (1990).

Sykes et Henn(1992) ont appliqué la technique Large Eddy Simulation (LES) pour simuler la dispersion du panache. Dans ce travail, les auteurs ont étendu l'application du modèle k-e modifiée de Koo pour prédire en 3D les flux stables stratifiés et la dispersion des polluants sur un terrain complexe. La prédiction de la dispersion du panache sous le vent à partir d'une source de polluant est obtenue à partir de la solution de l'équation de la concentration.

Madani et Abidat (2002)[6] ont proposé un algorithme pour la résolution des équations de Navier-stokes, qui utilise une combinaison de deux schémas aux différences finies d'ordre 0(h2) et 0(h4), afin d'étudier les écoulements in stationnaires autour des corps profilés. Les avantages en temps de calcul et en précision de la méthode proposée ont été mis en évidence.

S.C Luo et al. (2003)[7], ont réalisés des travaux expérimentaux sur les obstacles carrés, employant comme méthode de mesure un colorant fluorescent et la visualisation laser. L'étude a permis de déterminer le nombre Reynolds critique de transition à 160 pour le mode A et à 200 pour le mode B. Il a été observé qu'au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmente jusqu'à 160, le caractère onduleux du sillage augmente (mode A). A partir d'un nombre de Reynolds égal à 200, le sillage derrière l'obstacle devient complètement déformé, et les longueurs d'ondes sont de plus en plus faibles ; ce qui caractérise le mode B.

R. Belakroum et al (2007) [8] Ont étudié par la méthode des éléments finies, le modèle LES (Large Eddy Simulation) pour simuler l'écoulement instationnaire et turbulent d'un fluide incompressible autour d'un cylindre. Ils ont trouvé que Le phénomène d'éclatement tourbillonnaire est nettement mis en évidence.

M.M. Ouestati et al (2010) [9] se sont intéressés à la simulation par les différentes formulations de la fonction « vorticité » pour résoudre l'équation de Navier-Stocks. Ils ont étudié l'écoulement de fluide régulier et transitoire autour d'un obstacle carré. Ils ont conclu que cette formulation a plusieurs avantages, puisque la limite de pression est éliminée des équations de gouvernement et satisfait automatiquement l'équation de continuité.

On note ici d'après ces études citées ci-dessus qu'en raison des limitations de ressources informatiques, les modèles de turbulence plus complexes (comme Reynolds stress et LES) ne conviennent pas pour la plupart des problèmes d'ingénierie, grâce au grand temps CPU et la mémoire nécessaires.

3. But de travail :

Le but de ce travail est de contribuer à l'étude de la distribution d'un polluant dans un canal possédant deux obstacles. Dans le cas bidimensionnel, une simulation numérique a été faite à l'aide du code de calcul CFD qui est Ansys CFX.

On s'intéresse aux différents champs de vitesse, de pression, dissipation et de l'énergie de turbulence. L'effet de la turbulence sur l'écoulement a été pris en compte en utilisant le modèle k-ε.

D'autre part, une étude paramétrique est entamée variant les conditions d'entrée de l'écoulement et de l'espèce polluante.

Dans tous les cas considérés, les champs de pression et de vitesse satisfaisant, les phénomènes physiques tels que le développement des couches limites, ont tous été captés par la présente simulation.

4. Plan de l'étude :

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

a. le premier chapitre comporte une généralité sur la distribution d'un polluant dans un canal possédant des obstacles avec définition de la pollution.

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

c. Le troisième chapitre présente l'outil de simulation utilisé lors de ce travail, en occurrence : le solveur ANSYS CFX et le mailleur ICEM.

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

e. Dans le cinquième chapitre, nous présentons les résultats des simulations numériques de l'écoulement de l'air dans un canal avec deux obstacles.

Et enfin, on achève notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur la distribution d’un polluant dans un canal possédant des obstacles

I.1 La pollution :

On entend par pollution de l'atmosphère, l'émission dans l'atmosphère, de gaz, des fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorantes de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétations, la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites .

En effet, la pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est un type de pollution défini par une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique.

Cependant, la pollution de l'air est la résultante de 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 la navigation maritime, l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc**. [18]**

I.2 Principales sources de la pollution :

Les principales substances polluant l'atmosphère peuvent se répartir en deux groupes principaux : les gaz et les particules solides (poussières, fumées).

On estime que les gaz représentent 90% des masses globales de polluants rejetés dans l'air et les particules les 10% restants [Arques, 1998].

Cette pollution peut être :

- brève ou chronique,
- visible (fumée) ou invisible (pesticides dans l'air)
- émise massivement ou en faible dose
- émise en quantité dispersée (exemple : pollution émise par les centaines de millions de pots d'échappement)
- locale et émise par une source fixe (ex : cheminée, usine...), ou émise par des sources - mobiles (voitures, épandeurs de pesticides, transport maritime ou aérien, etc.),

L'ensemble de ces sources contribuant à une pollution globale (ex : augmentation de l'effet de serre due au CO2).

La pollution de l'air résulte principalement des gaz et particules rejetés dans l'air par les véhicules à moteur, les installations de chauffage, les centrales thermiques et les installations industrielles : dont les dioxydes de carbone, de soufre et d'azote, poussières, particules radioactives, produits chimiques (dont certains engrais et pesticides), etc....

Ainsi, on distingue deux types de sources :

- anthropiques (émissions des chaudières, moteurs, usines, etc.)
- naturelles (volcanisme, érosion éolienne, émissions naturelles de méthane).

I.3 Dispersion d'un polluant :

La compréhension des détails de la dispersion d'un polluant autour des bâtiments est très importante pour estimer l'effet de la présence de ces derniers sur l'évolution des différents contaminants.

A cet effet, l'utilisation des modèles réduits dans des souffleries d'essais pour étudier le transport et la dispersion des polluants, a connu un grand essor. Les mesures des concentrations des contaminants issus d'une variété de sources de pollution ont été effectuées par beaucoup de chercheurs tels que Halitsky **[d'après 2],** Plate **[d'après 1],** Stromet Martin. **[d'après 5]**

Cependant, ces travaux expérimentaux ne fournissent pas une base de données complète pour valider et améliorer des modèles de dispersion dans un terrain complexe, mais se limitent à donner des lois empiriques simples concernant essentiellement l'effet de la forme de l'obstacle et l'épaisseur de la couche limite sur la diffusion du polluant.

I.4 Les modèles de dispersion :

(a) Le vent :

Absence de vent : concentration des polluants.
Vent modéré : bonne dispersion des polluants.
Vent fort : effet panache et pollution localisée.



(a)

(b) La topographie :

Les obstacles naturels, les constructions ou les Phénomènes de brise de terre et de mer sur le littoral, peuvent gêner la dispersion des polluants



(b)

(c) La pluie :

Les gouttes de pluie et les gouttelettes de brouillard piègent les Polluants gazeux et particules pour les entraîner vers le sol.



(c)

(d) L'inversion des températures :

La température en altitude peut être plus élevée qu'au sol ; le couvercle d'air chaud piège alors l'air vicié au-dessus des villes.



(d)

(e) L'ensoleillement :

En présence de polluants issus de l'automobile ou de l'industrie, l'ensoleillement provoque la formation d'ozone à basse altitude



(e)

I.5. Passage d'un régime à l'autre :

Trois types de transition se présentent ; la première est appelée transition naturelle où la couche limite laminaire développe ce qu'on appelle les ondes de Tollmien-Schlichting suivies par une amplification d'instabilités (2eme type transitoire) et finalement d'un écoulement complètement turbulent (3eme type) qui sont illustré sur la (figure(I.1)).

La transition naturelle se produit habituellement avec de petites perturbations de l'écoulement libre. **[4]**

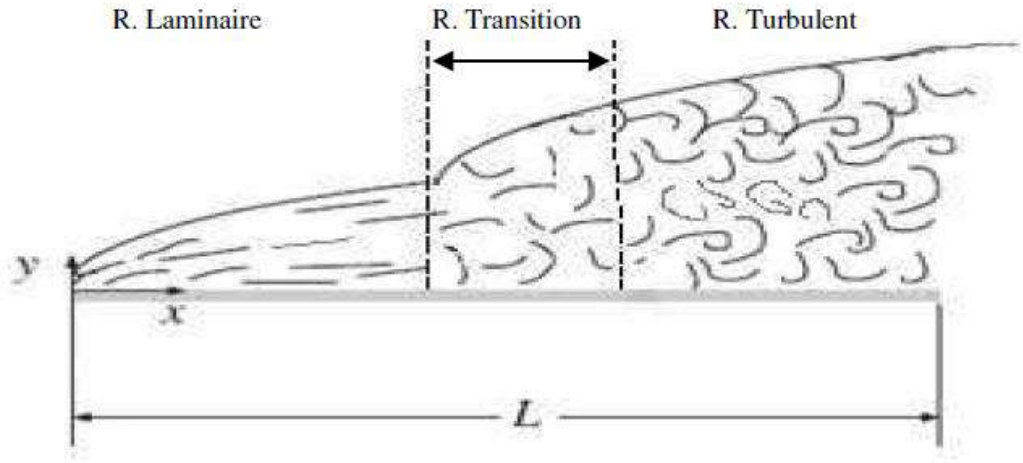


Figure I.1 Phénomènes induits par la transition naturelle

I .5.1 Modèles de turbulence :

Les modèles de fermeture de turbulence à deux équations sont intéressants pour les applications industrielles dans lesquelles le détail du champ turbulent n'est pas recherché. Ces modèles sont encore très utilisés dans les grands codes industriels en CFD.

Les modèles à deux équations sont généralement basés sur le concept de viscosité de la turbulence et de ce fait peuvent être résolus numériquement de façon efficace alors que les modèles aux tensions de Reynolds nécessitent des techniques spécifiques.

De nombreuses études sur les écoulements turbulents ont été menées **[6,9, 10,13].** La plupart sont des études numériques. Pour une vue générale, on peut se reporter sur la littérature abondante sur le sujet et spécialement les publications de revue.

Dans la simulation numérique des écoulements turbulents, le modèle k-Ɛ a déjà très largement prouvé son efficacité mais présente cependant un certain nombre de faiblesses.
Par exemple, tous les schémas de fermeture du modèle k-Ɛ sont basés sur l'hypothèse des nombres de Reynolds de la turbulence élevés, ce qui signifie que l'effet de la viscosité moléculaire est supposé négligeable. Cette hypothèse n'est pas valable dans les zones proches des parois où l'effet de la viscosité moléculaire devient prépondérant. **[14]**

Deux grandes orientations peuvent alors être dégagées pour apporter une solution à ces limitations. La première approche consiste à mailler plus finement la zone proche de la paroi afin de reproduire au mieux les phénomènes turbulents. Les modélisations de l'énergie

cinétique turbulente et de sa dissipation sont étendues pour inclure l'influence importante de la viscosité moléculaire au voisinage de la paroi. C'est l'objectif des modèles bas Reynolds et de l'approche par **Simulation Numérique Directe (DNS).**

La seconde approche consiste à mailler grossièrement le domaine pariétal et à imposer, dans les régions concernées, des valeurs aux grandeurs turbulentes déduites de «lois de paroi».

I.5.2 Le modèle de k-Ɛ :

C'est le modèle à deux équations de transport (pour k et Ɛ) qui a été le plus largement testé et utilisé. Ce modèle k-Ɛ, a été proposé par **Launder et Spalding [4].**Il est très répandu de par sa simplicité, sa robustesse et sa facilité de mise en œuvre.

Bien que les aspects généraux des écoulements soient bien simulés, il apparait certaines insuffisances dues notamment à la valeur des constantes et au fait que le modèle est trop diffusif. Les modifications apportées au modèle k-Ɛ sont nombreuses, dont notamment les extensions suivantes :

Le modèles k-Ɛ deux couches de **Chen [5]** qui, à proximité des parois, utilise un modèle à une équation (pour k) et exprime Ɛ à l'aide d'une longueur caractéristique déterminée par une formule algébrique fonction du nombre de Reynolds local.

Le modèle k-Ɛ bas Reynolds de **Jones [3] et Laundes [4]** qui élargit son domaine de validité aux zones d'écoulement laminaires ou de transition à proximité des parois. Les constantes sont rendues dépendantes du nombre de Reynolds et des termes complémentaires sont ajoutés aux deux équations pour tenir compte du caractère non-isotrope du processus de dissipation.

Le modèle k-Ɛ étendu de **Chen et Kim [5],** qui ajoute un terme à l'équation du taux de dissipation pour que le transfert d'énergie réponde plus efficacement à la déformation moyenne de l'écoulement, rend le modèle moins diffusif.

Le modèle RNG, développé par le groupe de normalisation **Yakhot et Smith [11],** consiste en une estimation au cours du calcul de la constante $C_{\varepsilon 1}$, remplacée dans l'expression de dissipation par une autre constante qui change au cours des itérations. Cette expression ajoute un terme fonction du taux de déformation à l'équation du taux de dissipation le rendant ainsi moins diffusif.

I.5.3 Les conditions aux limites :

Dépendant du type de phénomène physique à étudier, elles permettent d'identifier les positions des frontières (entrées, sorties, symétrie ...) et spécifient les variables aux frontières (vitesse, pression, ...).

- Pour tous les cas étudiés, le fluide considéré est de l'air incompressible. Et à faible nombre de Mach.
- Le nombre de Reynolds **[8]** pour le cas bidimensionnel et l'écoulement laminaire varie comme suit :
  - écoulement rampant **Re**≤ 5
  - régime stationnaire décollé 5 ≤ **Re**≤ 48
  - régime laminaire instationnaire 48 ≤ **Re**≤ 180
- Le nombre de Reynolds pour le cas tridimensionnel et l'écoulement turbulent soit : **Re**= 8700.

Chapitre II :

Formulation Mathématique

II.1 Modèle mathématiques :

Le modèle mathématique considéré, dans le cas de la dispersion des polluants est celui basé sur les lois fondamentales de la physique, de la mécanique des fluides et de transfert thermique en particulier.

Souvent, on peut même supposer des hypothèses pour la construction de ces modèles. Certaines de ces hypothèses, sont déjà justifiées complètement et rigoureusement grâce aux progrès scientifiques tandis que certaines autres sont utilisées dont l'objectif est de rendre le problème simple et réservable.

Tous les écoulements rencontrés en pratique deviennent instables à partir d'un certain nombre de Reynolds : $Re = UD/\nu$

Où **:**

- U et D sont la vitesse et le diamètre caractéristiques de l'écoulement du polluant.
- ν est la viscosité cinématique moléculaire du polluant.

Aux faibles nombre de Reynolds, l'écoulement est laminaire tandis qu'à des nombres de Reynolds élevés, les écoulements deviennent turbulents. Un état chaotique se développe où la vitesse et la pression fluctuent continuellement dans une partie du domaine de l'écoulement.

En régime d'écoulement laminaire (faible nombre de Reynolds), les écoulements sont complètement décrits par les équations de continuité, de Navier-Stokes, de l'énergie et d'état du fluide. Dans certains cas de configurations géométriques simples, ces équations peuvent être résolues analytiquement.

Les études des écoulements des polluants atmosphériques obéissent aussi aux lois de la mécanique des fluides et de la thermodynamique.

On considère que l'influence de tel ou tel facteur est plus ou moins importante, ce qui induit une série d'hypothèses simplificatrices aboutissant à une représentation pour laquelle le calcul numérique soit possible.

La dispersion du polluant, à l'échelle atmosphérique, est une représentation physique plus ou moins simplifiée du phénomène étudié, pouvant donner une prise au calcul et à partir de laquelle des expériences peuvent être conduites.

En mécanique des fluides, en supposant que le fluide est un milieu continu, on peut utiliser les lois classiques de conservation, à savoir :

- Conservation de masse ;
- Conservation de la quantité de mouvement ;
- Conservation d'énergie ;
- L'équation du polluant contaminant (espèce).

Résoudre complètement un problème de la dispersion revient à déterminer en tout point du domaine d'étude et à tout instant les grandeurs caractéristiques du fluide étudié ici, (NOx, CO, CH) soit :

- La concentration ;
- Le champ de vitesse ;
- La pression ;
- La température.

Dans ce chapitre, on présente les équations qui régissent le phénomène de la dispersion d'un polluant d'origine automobile en régime turbulent urbaine. On s'intéresse aux équations de bilan régissant le mouvement moyen du fluide et aux conséquences de la turbulence sur la résolution de ces équations. Donc on aboutit à un système d'équations différentielles.

Pour résoudre toutes les équations considérées, il est nécessaire de spécifier les conditions initiales et les conditions aux limites de toutes les frontières du domaine de calcul d'écoulement. Dans des cas plus complexes, ces écoulements sont traités numériquement à l'aide des techniques de CFD (Computationnel Fluide Dynamics) utilisant la méthode des volumes finis ou éléments finis.

II.1.1 Equation de conservation de continuité :

Sachant que le système, par hypothèse, n'est pas siège de réaction chimique, la loi de Conservation de la masse [9] est exprimée mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \overline{\rho}}{\partial t} + div(\overline{\rho U\imath}) = 0 \qquad \text{(II.1)}$$

Où : ρest la masse volumique moyenne et U_i est la composante du vecteur vitesse ; alors que t est la variable indépendante de temps.

II.1.2 Equation de quantité de conservation de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les forces extérieures qui le produisent. L'équation de la quantité de mouvement est donnée comme suit :

Suivant y : $\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho U y}) + div(\overline{\rho U y U}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + div(\overline{\overline{\tau}}) + \vec{F}$ (II.2)

Suivant z : $\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho U z}) + div(\overline{\rho U z U}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + div(\overline{\overline{\tau}}) - \overline{\rho \vec{g}} + \vec{F}$ (II.3)

Où :

ρ : la masse volumique ;

P : la pression ;

$\overline{\overline{\tau}}$:Le tenseur des contraintes ;

g et F sont les forces gravitationnelles sur les polluants et les forces d'interactions entre espèce présentes dans l'atmosphère ainsi que l'effet des champs extérieurs (magnétiques).

II.1.3 Equation de conservation de l'énergie :

L'équation de conservation de l'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique et donnée comme suit :

$\frac{\partial(\overline{\rho E})}{dt} + div\left(\vec{U}(\rho E + P)\right) = div(\sum_J h\, ,\bar{J}_{a,\,h}) + \bar{S}_e$ (II.4)

$\bar{S}_e$: est un terme de source.

II.1.4 Equation de transport d'espèces :

La détermination de la fraction massique pour chaque espèce, se fait par la résolution de l'équation de transport de l'espèce j, qui est de la forme suivante :

$\frac{\partial \overline{\rho X_J}}{dt} + div(\overline{\rho u X}_J) = \text{div}(\, D_{T,J}\ \text{grad}\ \overline{X_J}\,) + \bar{S}_j \qquad j=1,2$ (II.5)

S_j: est un terme source de constituant j.

j=1 : source de l'air ; j=2 source de CO ;

Les coefficients de diffusion de matière peuvent être considérées constants, définis sous forme polynomiale, en fonctions de la température et la composition.

Toutefois, l'utilisateur peut opter pour l'utilisation de l'expression empirique suivante :

$$D_{T,j}=-2{,}59*10^{-7}\ T^{0{,}659}\left[\frac{M_j^{0{,}511}X_j}{\sum_{j=1}^{N}M_j^{0{,}511}X_j}-Y_j\right]*\left[\frac{M_j^{0{,}511}X_j}{\sum_{j=1}^{N}M_j^{0{,}489}X_j}\right] \qquad \text{(II.5.a)}$$

Pour les conditions de fonctionnement requises, nous avons considéré pratiquement pour toutes les simulations un mélange gazeux idéal en équilibre thermique. Il est régi par :

$$PV = nRT$$

Où n est le nombre de mole de constituant j,

Et : $h=\sum_{j=1}^{n} h_j X_j$ (II.5.b)

Avec : $h_j = \int_{Tref}^{T} C_{pj}(T)\,dT + h_j^0(T_{ref}, j)$ (II.5.c)

h : l'enthalpie ;

X_j :distance ;

C_{pj} : Capacité thermique massique du constituant j à pression constante

T_{ref} = 298,15 K.

Les valeurs de $C_{pj}(T)$ sont des données que l'on doit trouver dans des tables spécifiques.

Les équations précédentes de bilans contiennent des termes inconnus, dont leurs déterminations sont fonction des termes connus. Ceci impose mathématiquement une fermeture du système d'équations.

II.2 Règles de Reynolds :

En utilisant les règles dites règles de Reynolds Hinze (1975) qui sont les suivantes :

$\overline{\emptyset}$**=0.**

$\overline{\overline{\emptyset}} = \overline{\emptyset}$.

$\overline{f\overline{\emptyset}} = \bar{f}.\overline{\emptyset}$

$\overline{f+g} = \bar{f} + \bar{g}$

$\overline{f\emptyset'} = \bar{f}.\overline{\emptyset}'$=0.

$\overline{f.\emptyset} = \bar{f}.\overline{\emptyset} + \overline{\emptyset}'.\overline{f}'$

$\frac{\partial\overline{\emptyset}}{\partial x} = \frac{\partial\overline{\emptyset}}{\partial x}$

II.2.1 Les tensions de Reynolds :

Le formalisme des règles Reynolds conduit en prenant la moyenne de chaque équation aux équations aux de Reynolds :

$$\frac{\partial}{\partial t}(Ui + u') + (U_j + U'_i)\frac{\partial}{\partial xj}(U_i + u'_i) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial xi}(P + P') + \frac{\partial}{\partial xj}\left(v\frac{\partial}{\partial xi}(Ui + U'i)\right) \qquad (II.6)$$

On moyenne ensuite ces équation et après calcul, on retrouve l'équation de continuité et celle de chaque celle de Navier-Stokes moyenné.

Actuellement les applications concernant les géométries complexes réelles dans le domaine de la prévision atmosphérique et la qualité de l'air dans la couche limite urbaine, mettent en jeu des phénomènes complexes : transition laminaire, turbulence, décollements, etc.

Un modèle de turbulence doit être le plus général possible et il doit satisfaire certains critères :

1. **Universalité** : un modèle doit s'appliquer, d'une manière simple, à tous les types d'écoulements et dans toutes les conditions opératoires possibles ;
2. **Réalisabilité :** un modèle doit fournir des résultats plausibles et vérifiables (pour validation) ;
3. **Invariance** : un modèle de turbulence doit aboutir à des résultats homologues pour des problèmes similaires ;
4. **Précision** : un modèle doit fournir des résultats précis (avec une tolérance acceptable).

Ces critères sont le plus souvent contradictoire et très difficile à regrouper dans un seul modèle. Plus spécialement, le premier critère - l'universalité - ne se retrouve dans aucun modèle de turbulence à l'heure actuelle. Ceci peut se comprendre par le fait que tous ces modèles "actuels" font large usage de l'expérience au travers de constante plus ou moins empiriques ; expérience qui est fonction du problème étudié et des conditions opératoires mises en jeu. **[13]**

Il existe au niveau pratique, toute une hiérarchie de modèles de turbulence en un point (c'est-à-dire que toutes les grandeurs - moyennes et fluctuations - sont évaluées au même point de l'espace ; par opposition aux modèles dits à deux points ou spectraux et qui sont en principe plus capables de décrire la physique de la turbulence. Ces derniers sont très lourds à

mettre en œuvre et ne sont d'utilisation que dans des laboratoires spécialisés). Ces modèles découlent les uns des autres par application de certaines hypothèses simplificatrices.

II.3 Modèles de turbulence :

La modélisation des écoulements turbulents est un considérable outil pour la compréhension des mécanismes physiques pour la conception et le développement dans l'industrie. Son utilisation courante a été rendue possible par les progrès réalisés dans le domaine de la résolution des équations de la mécanique des fluides et surtout par l'évolution des moyens de calcul. Aujourd'hui la modélisation est un véritable complément aux études expérimentales permettant de limiter le nombre d'essais en soufflerie, entraînant une réduction des coûts et des délais de conception, et constitue ainsi un enjeu économique majeur.

II.3.1 Classes de modèles :

La modélisation de la turbulence fournit un moyen d'évaluation des quantités de la turbulence afin de fermer le système. On distingue deux classes essentielles de modèles :

- La première est celle des modèles à viscosité turbulente pour lesquels on évalue les tenseurs des contraintes turbulentes à partir du tenseur des déformations. La loi peut être une simple proportionnalité, avec une "viscosité" turbulente que l'on calcule de manière plus ou moins sophistiquée (valeur constante, fonction de quantités transportées...). On peut également adopter des lois non linéaires, faisant intervenir les invariants du tenseur des déformations. On présentera essentiellement deux modèles importants (longueur de mélange et).
- La seconde classe est celle des modèles aux tensions de Reynolds, pour lesquels on résout une équation de transport pour chacune des composantes du tenseur des contraintes turbulentes (ce qui ajoute donc 6 inconnues au modèle).

On présentera ici un modèle relativement courant basé sur une hypothèse de viscosité turbulente, le modèle à deux équations de transport K-ε développé par Launder et Spalding **[13]** qui a été le plus largement testé et utilisé.

II.3.2Modèle de turbulence K-ε :

Dans le code CFX, il existe différents modéles de turbulence, qui se distinguent par un nombre d'équation de transport supplémentaires nécessaires pour fermer le système d'équation du problème à résoudre.

Dans notre cas, on a utilisé le modèle K-ε **[2]**standard qui est un modèle semi empirique basé sur le concepte de Boussinesq reliant les contraintes de Reynolds au taux de déformation moyen :

$$\overline{-\rho U'\imath U'j} = \mu_t\left[\frac{\partial Ui}{\partial xi} + \frac{\partial Uj}{\partial xj}\right] - \frac{2}{3}\delta_{ij}\rho K \qquad \text{(II.7)}$$

$\frac{1}{2}\left[\frac{\partial Ui}{\partial xj} + \frac{\partial Uj}{\partial xi}\right]$:est le tenseur de déformation .

Ou : K=$\frac{\overline{U_t^2}}{2}$ représente l'énergie cinétique turbulente.

Par analogie avec la viscosité laminaire caractéristique par une vitesse (des molécules) et une distance (le libre parcours moyen), la viscosité turbulente , caractérisée par une vitesse $\sqrt{K}$ et une distance (L=$\frac{K_2^3}{\varepsilon}$), est donée par :

$$v_t = C\mu\sqrt{K}\frac{K^{\frac{3}{2}}}{\varepsilon} = C\mu\frac{K^2}{\varepsilon} \qquad \text{(II.7.a)}$$

Avec C_μ =0.09, et ε le taux de dissipation.

K et ε sont obtenus à partir de leur équation de transport présentée ci-dessous.

a). Equation de transport de l'énergie cinétique turbulente k :

$$\frac{\partial}{\partial xj}(\rho K U_j) = \frac{\partial}{\partial xj}\left[\left(\mu\frac{\mu T}{\sigma K}\right)\frac{\partial K}{\partial xj}\right] + G_K - \rho\varepsilon \qquad \text{(II.8)}$$

b). Equation de transport du taux de dissipation ε de l'énergie cinétique turbulente :

$$\frac{\partial}{\partial xj}(\rho\varepsilon U_j) = \frac{\partial}{\partial xj}\left[\left(\mu\frac{\mu T}{\sigma K}\right)\frac{\partial K}{\partial xj}\right] + C_{l\varepsilon}\frac{\varepsilon}{K}G_K - C_{2\varepsilon\rho}\frac{\varepsilon^2}{K} \qquad \text{(II.9)}$$

$\sigma_\varepsilon$et $\sigma_{\epsilon'}$ sont respectivement les nombre de Prandtl turbulents relatifs aux de dissipation et à l'énergie cinétique turbulent , et l'ensemble des autres coeffiients est déterminé de façon empirique .

$C_{1\varepsilon}$=1,44 , $C_{2\varepsilon}$=1,92 ,$\sigma_\varepsilon = 1{,}3$, σ_K =1.0 . Ces valeurs sont prises par défaut par les codes CFD.

G_k :Le terme de production donné par :

$$G_K = -\overline{\rho U_\imath' U_J'}\frac{\partial \overline{U_J}}{\partial xi} = \rho v_t\left[\frac{\partial \overline{U_\imath}}{\partial xj} + \frac{\partial \overline{U_J}}{\partial xi}\right]\frac{\partial \overline{U_\imath}}{\partial xj} \qquad \text{(II.9.a)}$$

II.3.3 Modèle de turbulence K-ω :

Dans la dynamique des fluides computationnelle, la modèle de turbulence k-oméga est un modèle commun de turbulence à deux équations, qui est utilisé comme une fermeture pour les équations de Navier-Stokes **[8]** moyennées Reynolds (équations RANS). Le modèle tente de prédire turbulence par deux équations aux dérivées partielles de deux variables, k et ω, avec la première grandeur étant l'énergie cinétique de turbulence(k), tandis que la seconde(ω) est le taux spécifique de dissipation (de la turbulence énergie cinétique k).

Chapitre III :

Présentation des outils de Simulation

III.1 - Introduction :

On présente dans ce chapitre l'outil de simulation [8] utilisé lors de ce travail, en occurrence : le solveur ANSYS CFX et le mailleur ICEM. C'est un tutoriel pour la création d'une géométrie simple (plaque à cotés parallèles) puis la génération d'un maillage. On montre aussi la façon d'exporter le projet (géométrie + maillage) en format lisible par CFX.

III.2- Présentation du logiciel CFX 14.0 :

CFX-14.0 est un logiciel général de simulation numérique d'écoulements en mécanique des fluides et transfert thermique. Ce logiciel permet de mettre en œuvre une simulation numérique complète de la modélisation, de la création géométrique, et la visualisation des résultats, en passant par la création du maillage et le calcul. Le logiciel CFX-14.0, est divisé en 4 modules : ICEM, CFX-pre, CFX-solve et CFX-post. Chaque module a une utilisation bien spécifique.

III.2.1 - Le Mailleur ICEM :

III.2.1.1 - Nomenclature de la géométrie :

L'image suivante montre la géométrie de base des plans parallèles. Le problème de plans parallèle est un problème 2D, mais est résolu dans CFX en 3D. En soi, notre géométrie finale ressemble à une boite étroite.

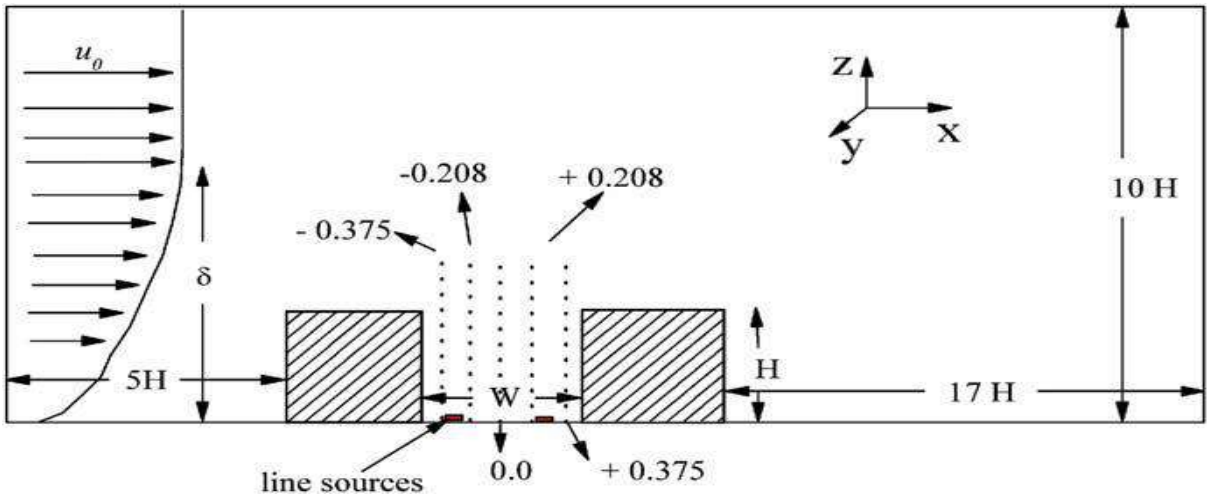
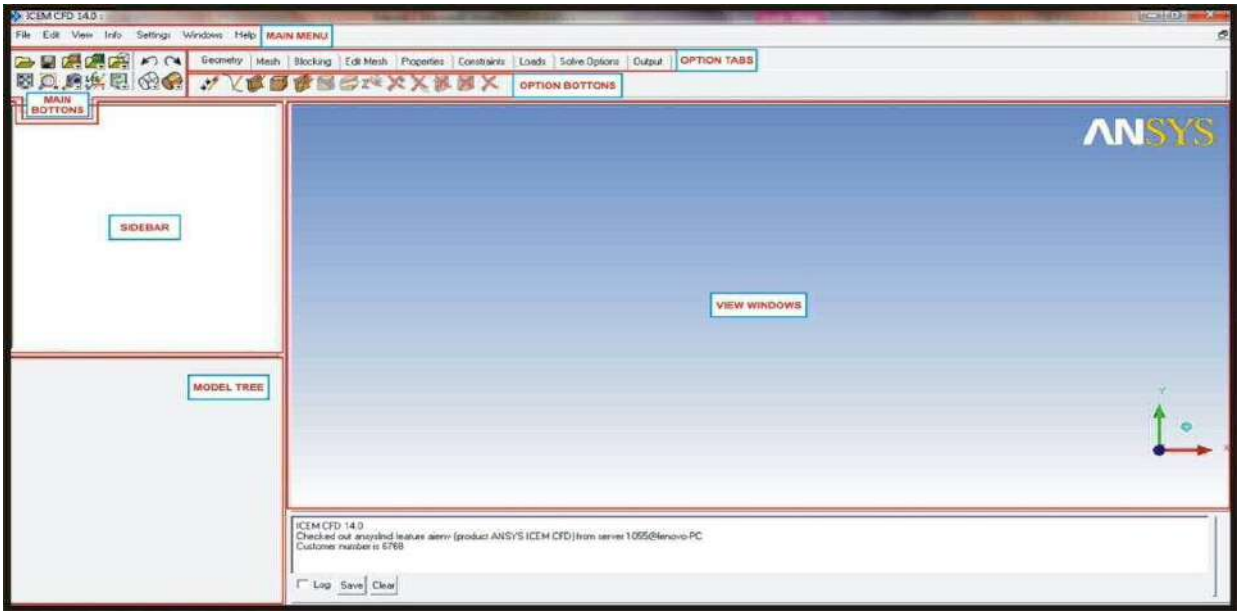


Figure III- 1 : géométrique 2D

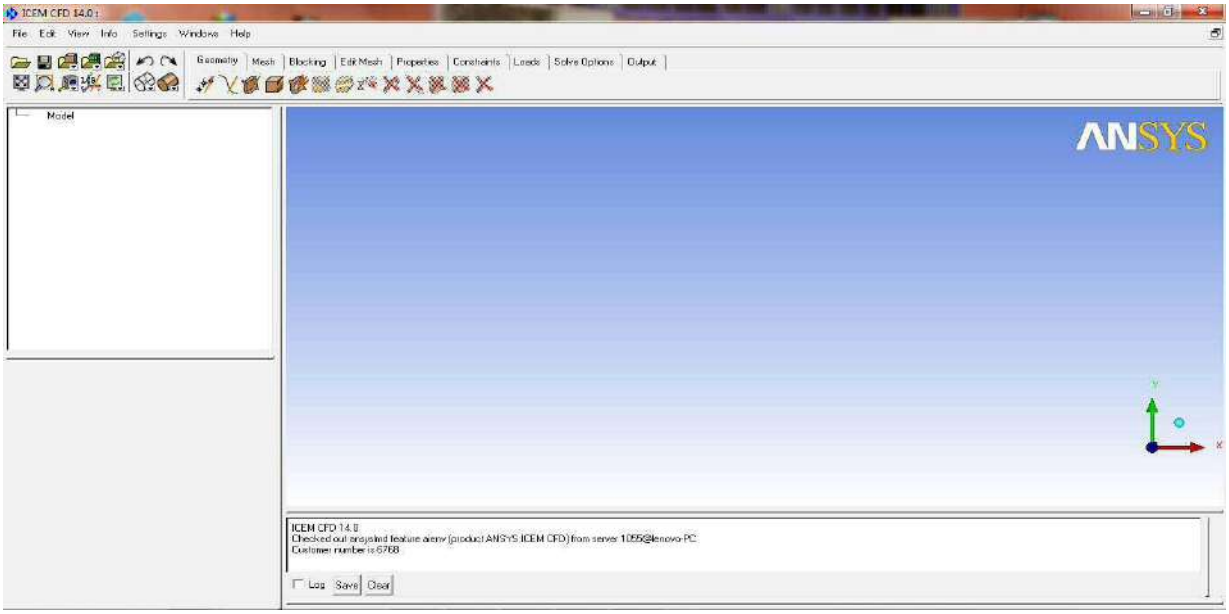
III.2.1.2 - Etapes d'utilisation d'ICEM CFD :

III.2.1.2.1 - Charger ICEM CFD par introduction de la commande :

(% ICEM CFD sous LUNIX) ou en cliquant sur  sous Windows. On obtient l'interface suivante :



Quelques noms généraux pour différentes parties de la fenêtre d'ICEM seront employés pour aider à identifier où certaines commandes sont situées. Les différentes pièces font appel le menu principal (boutons principaux), les étiquettes d'option (boutons d'options), la barre latérale (l'arbre modèle) et la fenêtre de vue. Celles-ci sont toutes marquées dans la figure suivante :



III.2.1.2.2 - Créer la géométrie :

- La géométrie sera créée dans les unités métriques (**mm** ou **m)**, pour trouver les unités on clique sur **Model** avec le bouton gauche de la souris. Puis on choisit la « **Geometry** » de l'option **Tabs** :

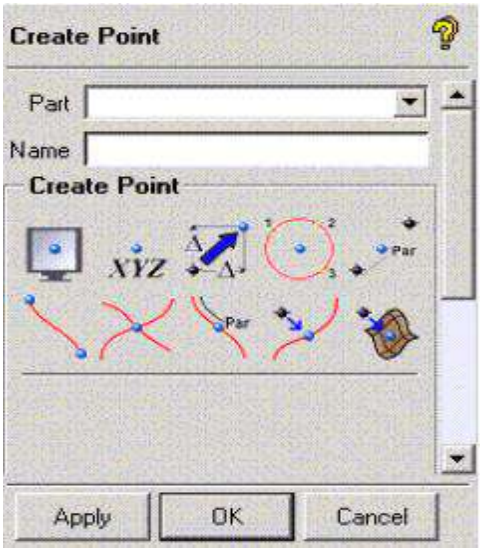


III.2.1.2.3 - Créer les points :

- Choisir  **« Create Point »** de l'option buttons. la création de points sont affichés ci-dessous.

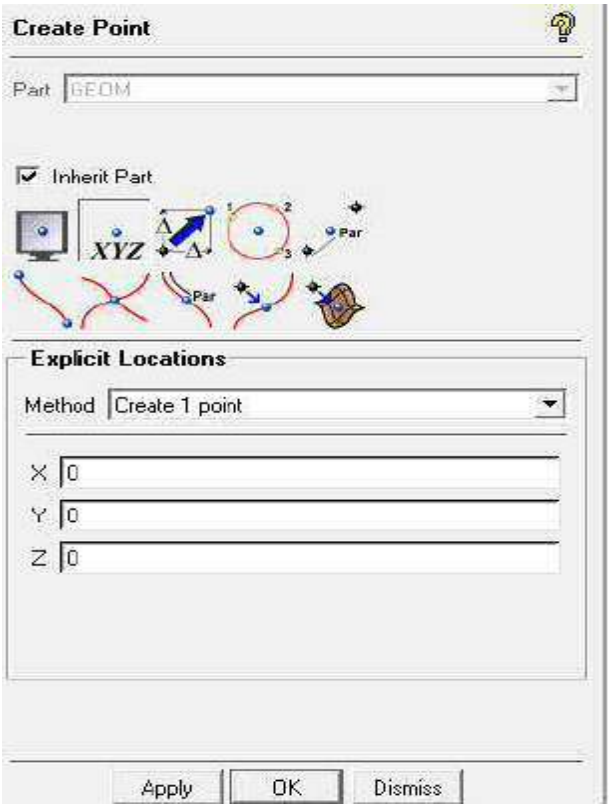


- Dans sidebar, choisir  **«Explicit Coordinates»** boutonner et retirer «**Part** » est «**GEOM** ».



-Création des points :

Entrez le X, Y et Z du point d'être créés. Nous les trouvons dans la figure suivante :



- Quitter l'arrangement par défaut de « **Create Points** » et écrire les Coordonnées suivantes :

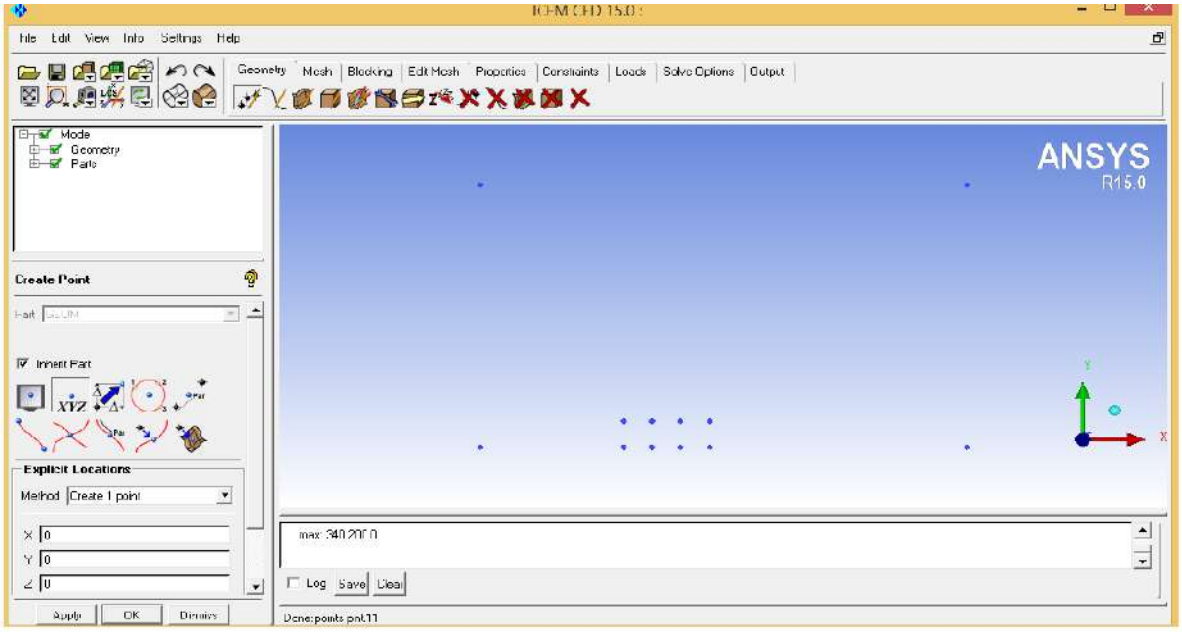
Les points	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	0	100	100	120	120	140	140	160	160	340	340	0
Y	0	0	20	20	0	0	20	20	0	0	200	200
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau III.1 : les coordonnées de la géométrie

- Quand tous les points ont été écrits, cliquer « **Dismiss** » dans **sidebar.**

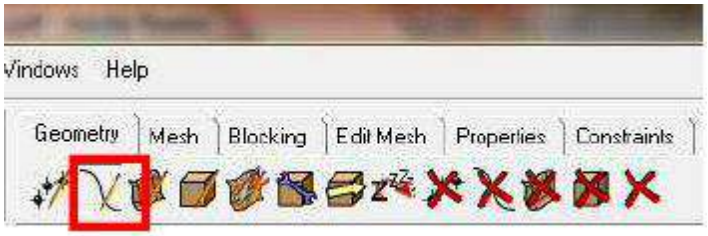
Pour obtenir tous les points sur l'écran, choisir « **Fit Windows** » des boutons principaux (vous pouvez devoir cliquer à gauche dans la fenêtre de vue après Pressurage « Fin Windows » pour décréter le changement).



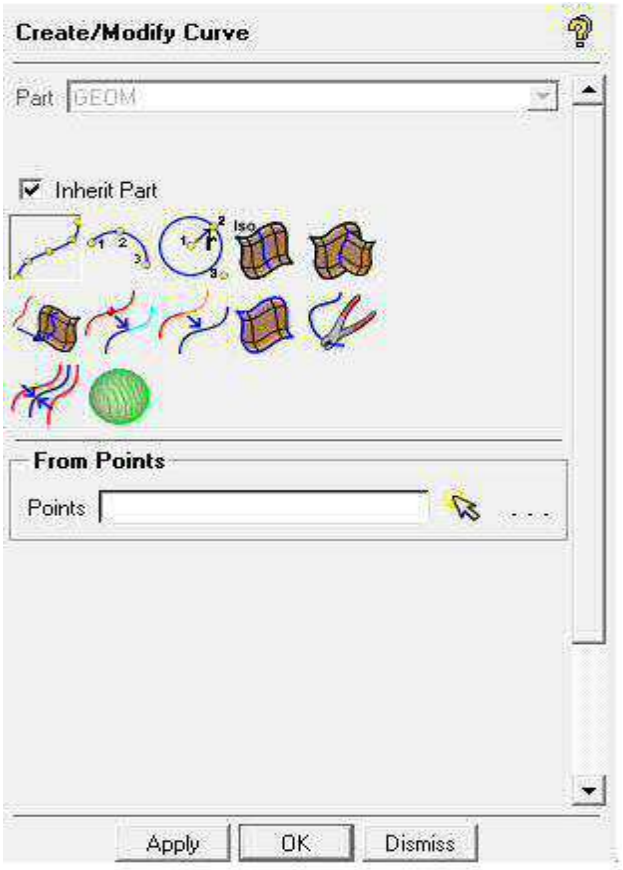


III.2.1.2.4 Création des courbes :

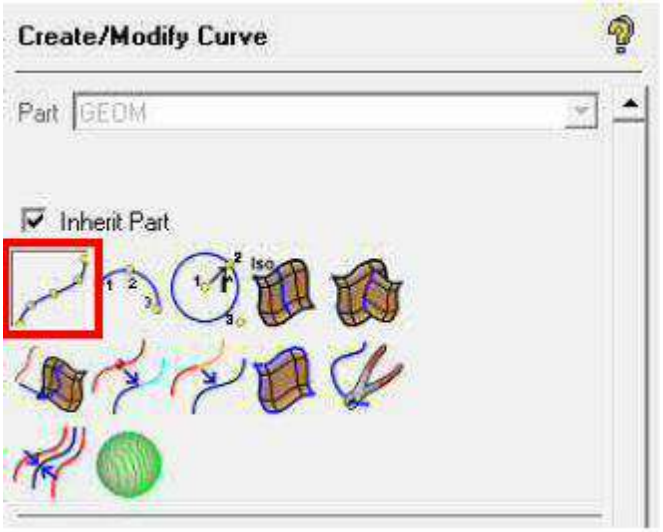
- Choisir  « Create/Modify Curve » des boutons d'option. Le nouveau sidebar «Create/Modify Curve » est ouvert.



Quand on clique sur  on obtient la figure suivante :



D'après la figure précédente on choisit l'option  << **From Points** >> qui permet de Créer une courbe de par interpolation par un nombre n points.

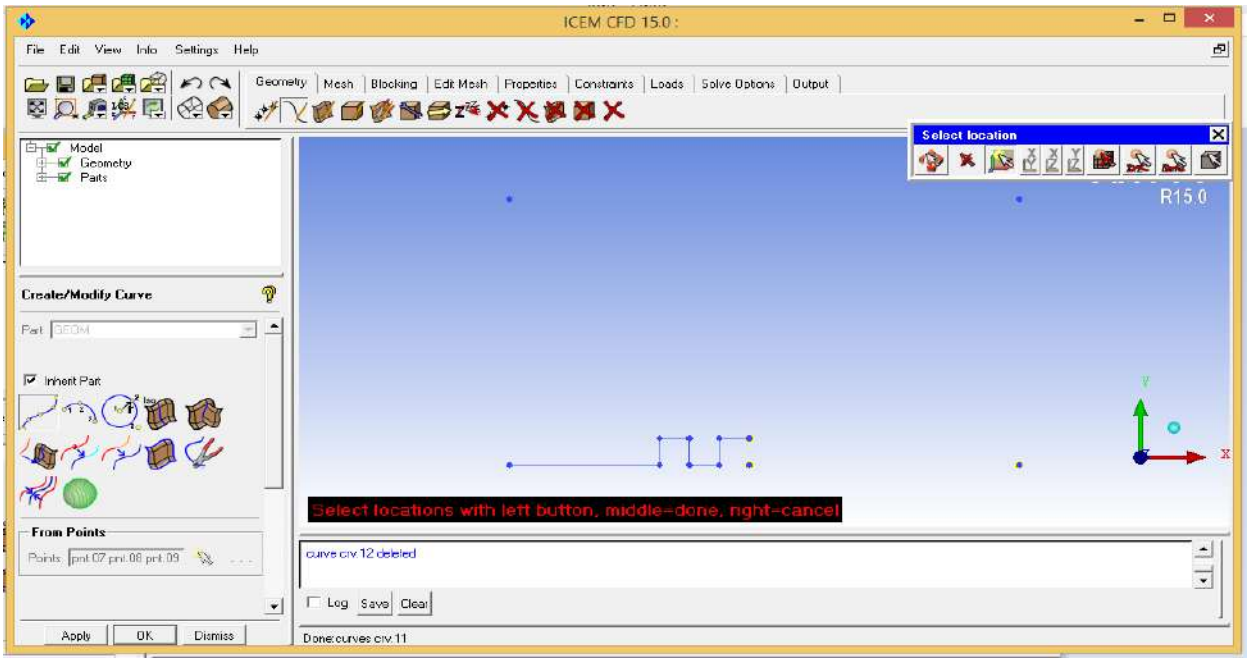


- Avec le bouton de souris gauche on clique sur les points << pnt.00 et pnt.01>> et puis on clique sur le bouton de souris moyen.

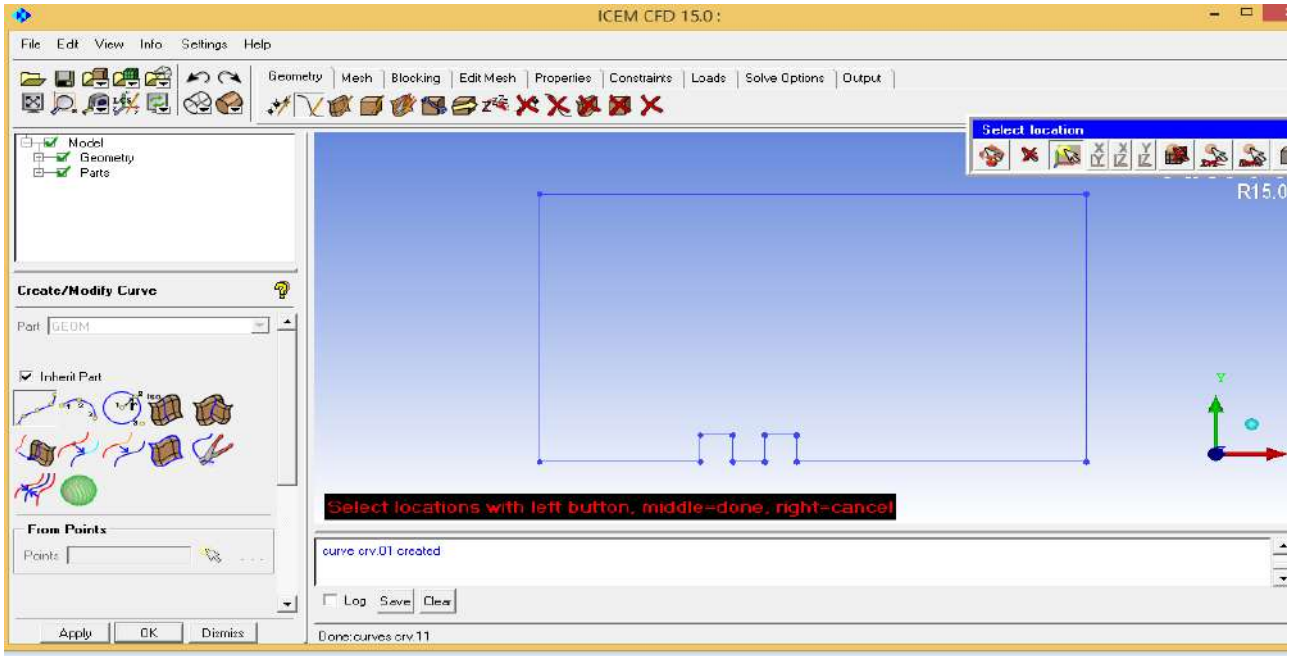
- Répéter ce processus pour les paires suivantes de points :

Crv.01	Pnt 0.pnt 1
Crv.02	Pnt 1.pnt 2
Crv.03	Pnt2. pnt 3
Crv.04	Pnt3.pnt 4
Crv.05	Pnt4.pnt 5
Crv.06	Pnt5.pnt 6
Crv.07	Pnt6.pnt 7
Crv.08	Pnt7.pnt 8
Crv.09	Pnt9.pnt10
Crv.10	Pnt10.pnt 11
Crv.11	Pnt11.pnt 0

Tableau III.2 : l'attachement des pointes



- Une fois que toutes les courbes ont été clique créer« **Dismiss** » dans sidebar :

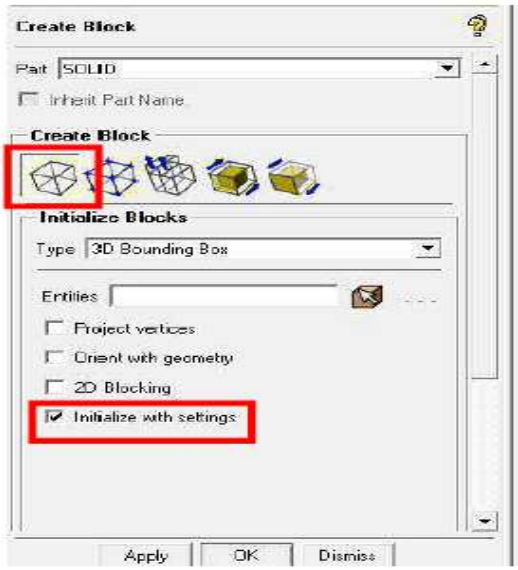


III.2.1.2.5 -Créer le bloc :

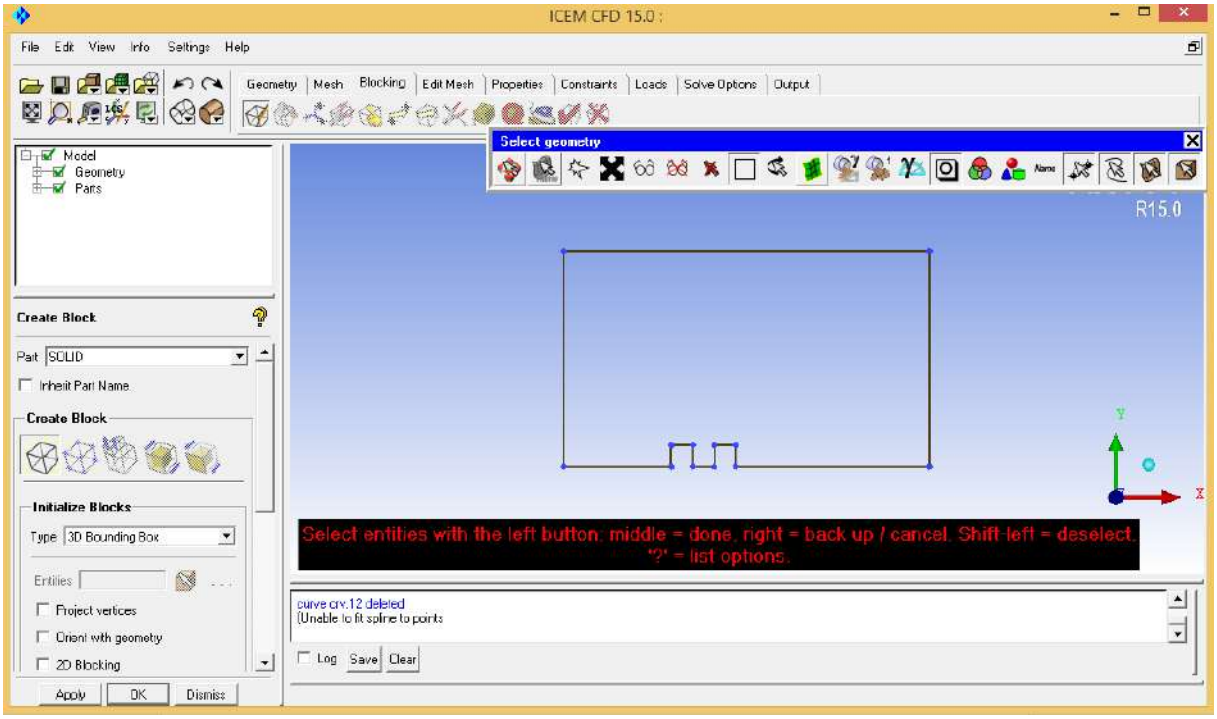
-Choisir  « Create Block » des boutons d'option. Le nouveau sidebar « Create Block » est ouvert.



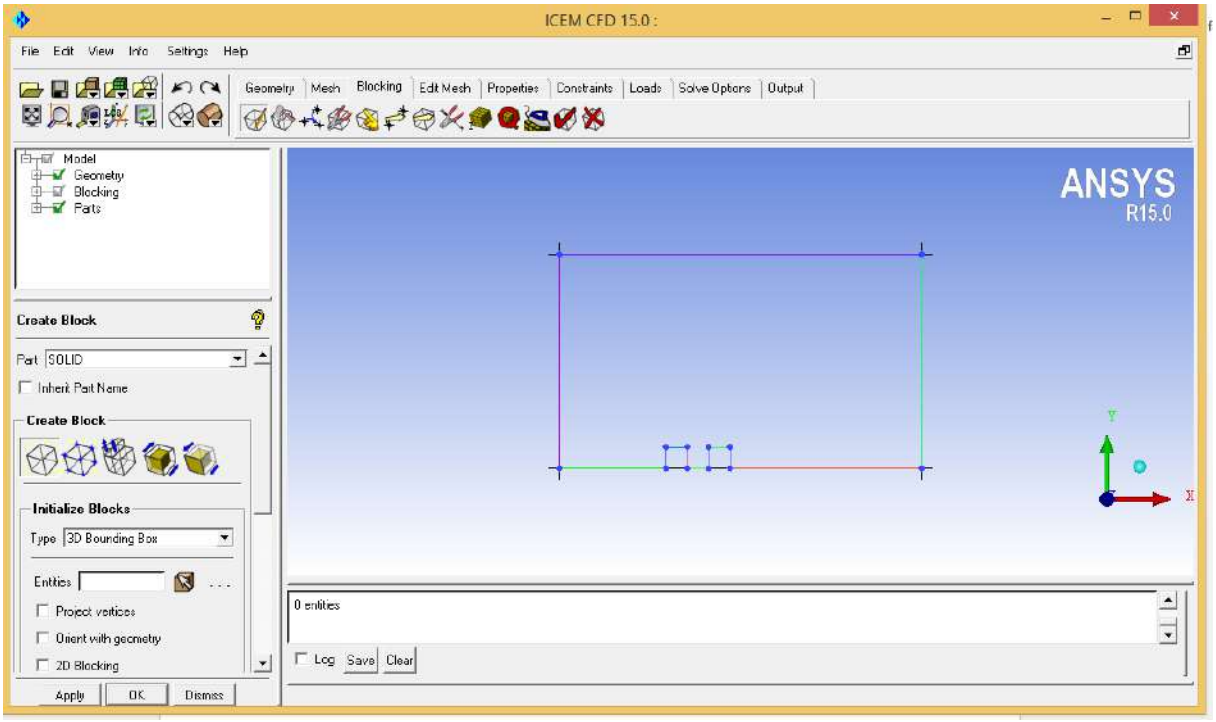
- Du sidebar choisir « Initialize Blocks » boutonner et placer « part » champ à « SOLID » Laisser « Type » champ en tant que son défaut « 3D Bounding Box ».



- Cliquer  « Select geometry » bouton.



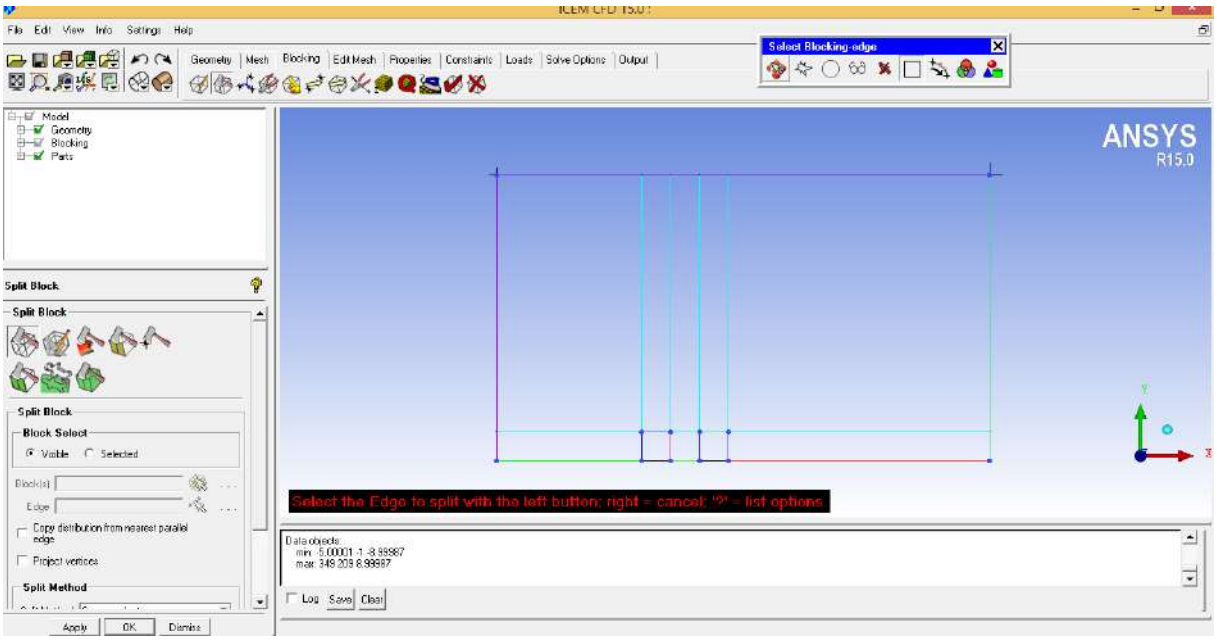
- Dans « view window » choisir les surfaces, appuyer sur le bouton moyen de souris et puis presser « Apply » dans sidebar. Presse « Dismiss » dans sidebar.



Maintenant on va utiliser  << **Split Block** >> qui nous permet de faire plusieurs blocs d'un seul bloc

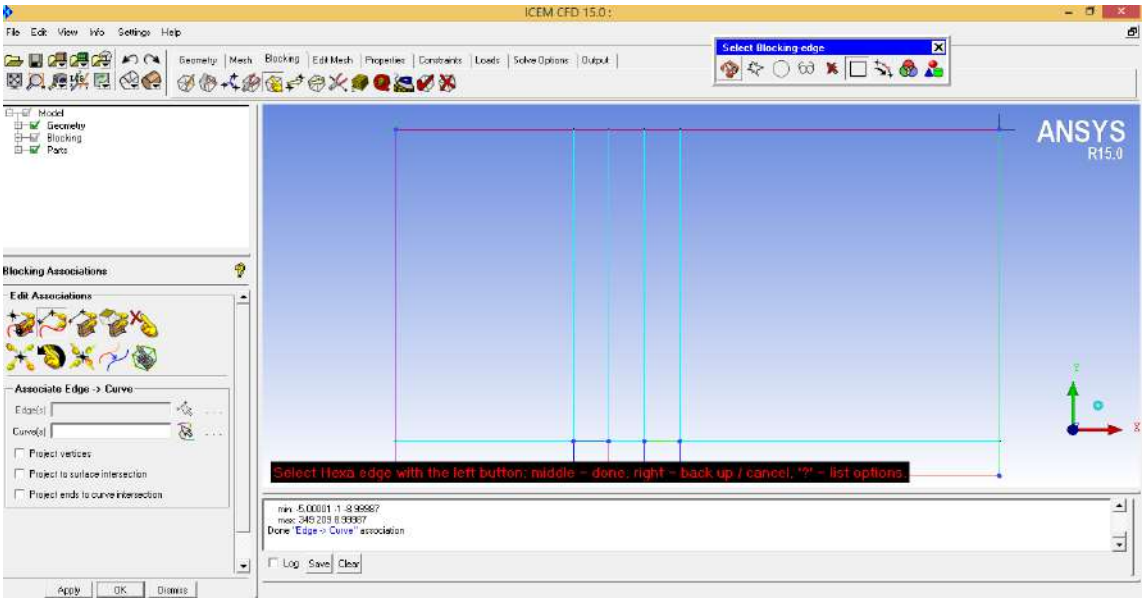


- Dans « view window » on choisit les points de division et appuyer sur le bouton moyen de souris et a la fin on presse « Apply » et « Dismiss » dans sidebar.



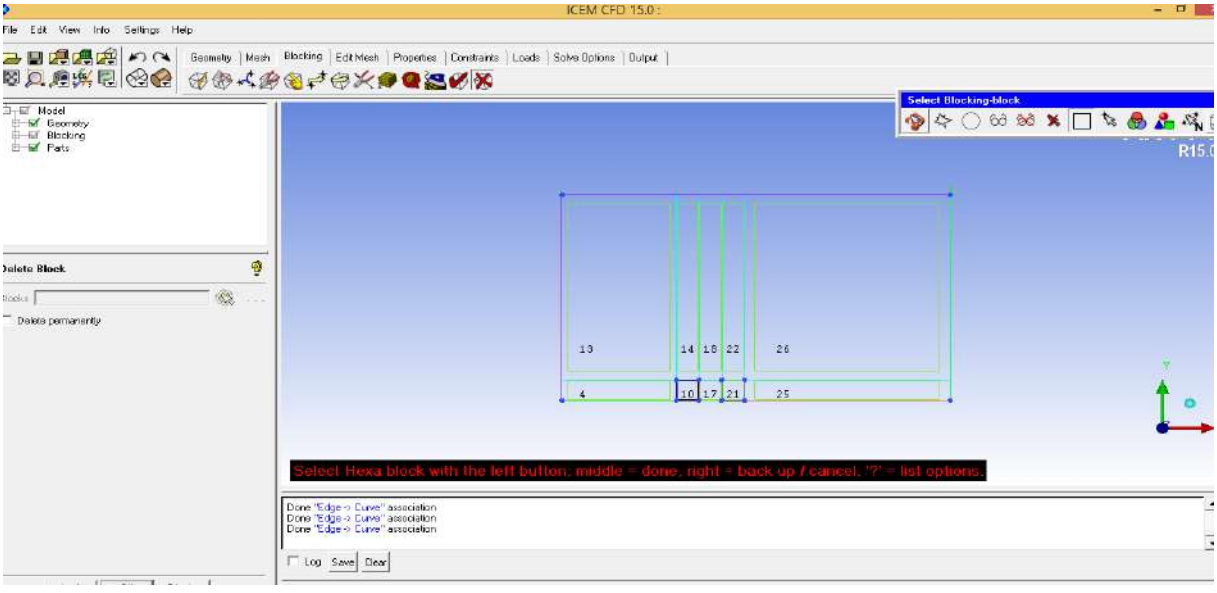
-On Choisir Option  **Blocking Associations :**

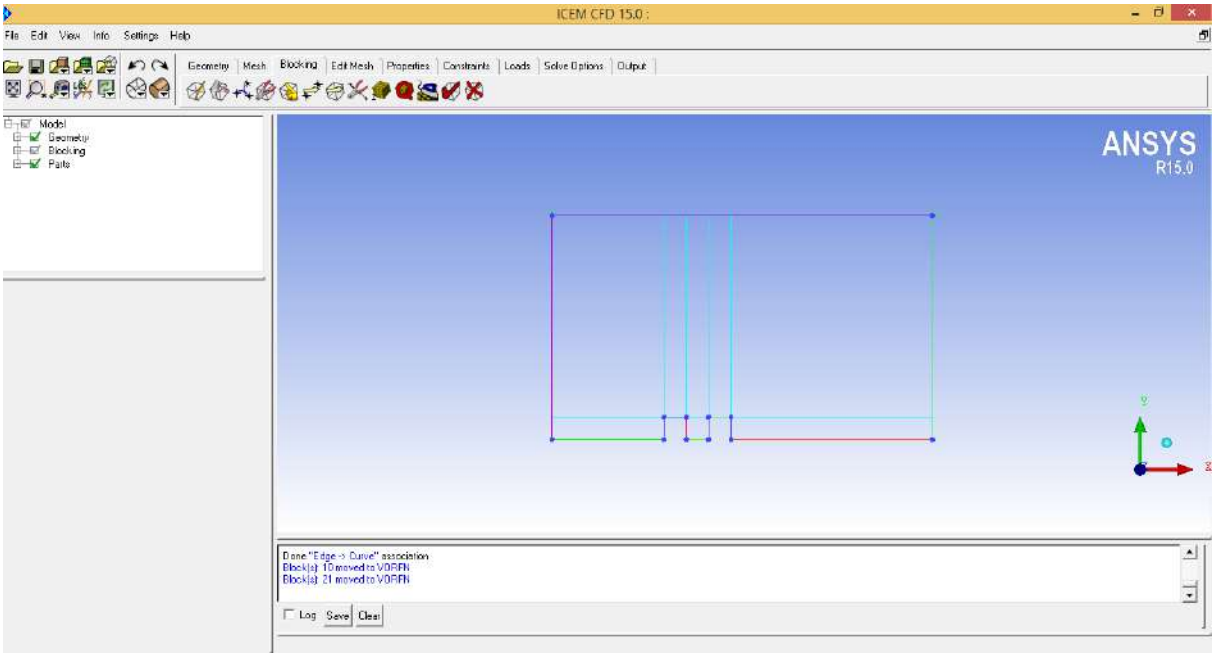
Associate Edge to Curve nous permet d'associer les bords de blocs en courbes .Les sommets à la fin des bords sont également associées à la même courbe, sauf se ils ont été précédemment associées à une autre courbe ou un point. Segments de bord peuvent être associés individuellement après utilisant scissions de pointe.
Les rebords multiples peuvent être associés à plusieurs courbes, mais toutes les courbes seront regroupées en une seule courbe composite.



-On choisir  option **Delete Block :**

L'option Supprimer bloc vous permet de supprimer les blocs de la topologie :



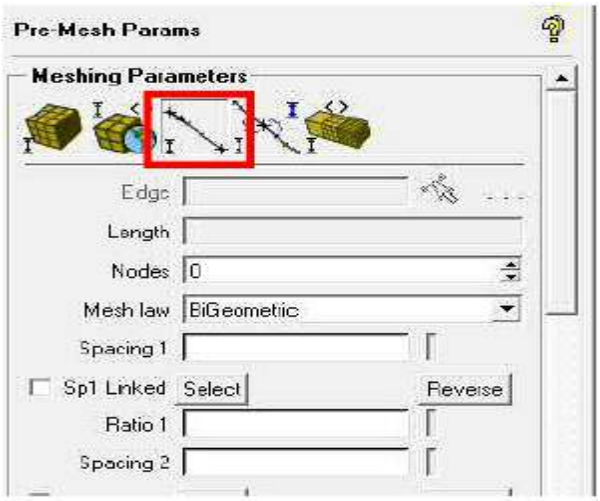


III.2.1.2.6 - Assigner la distribution nodale le long des bords de bloc :

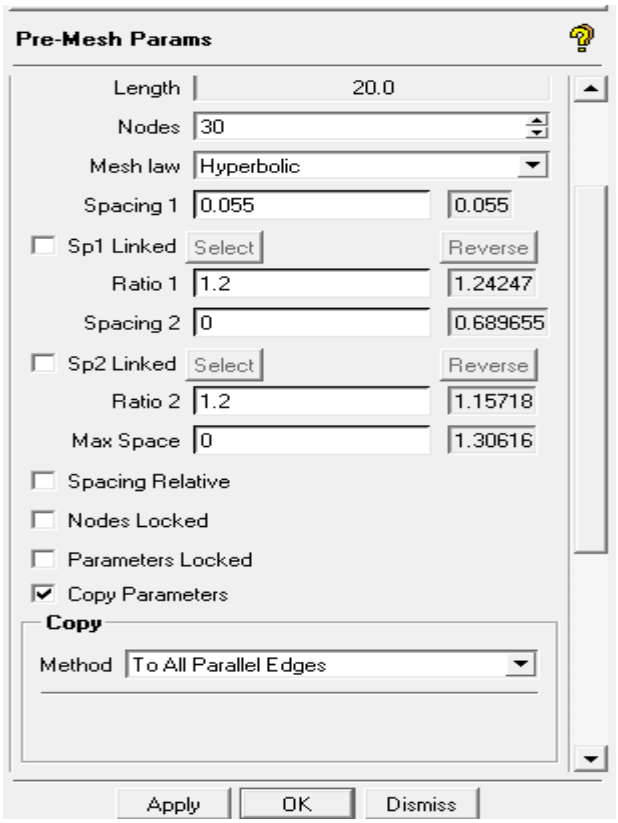
- Choisir « Pre-Mesh Params » des boutons d'option, Le nouveau sidebar « Pre-Mesh Params » est ouvert.

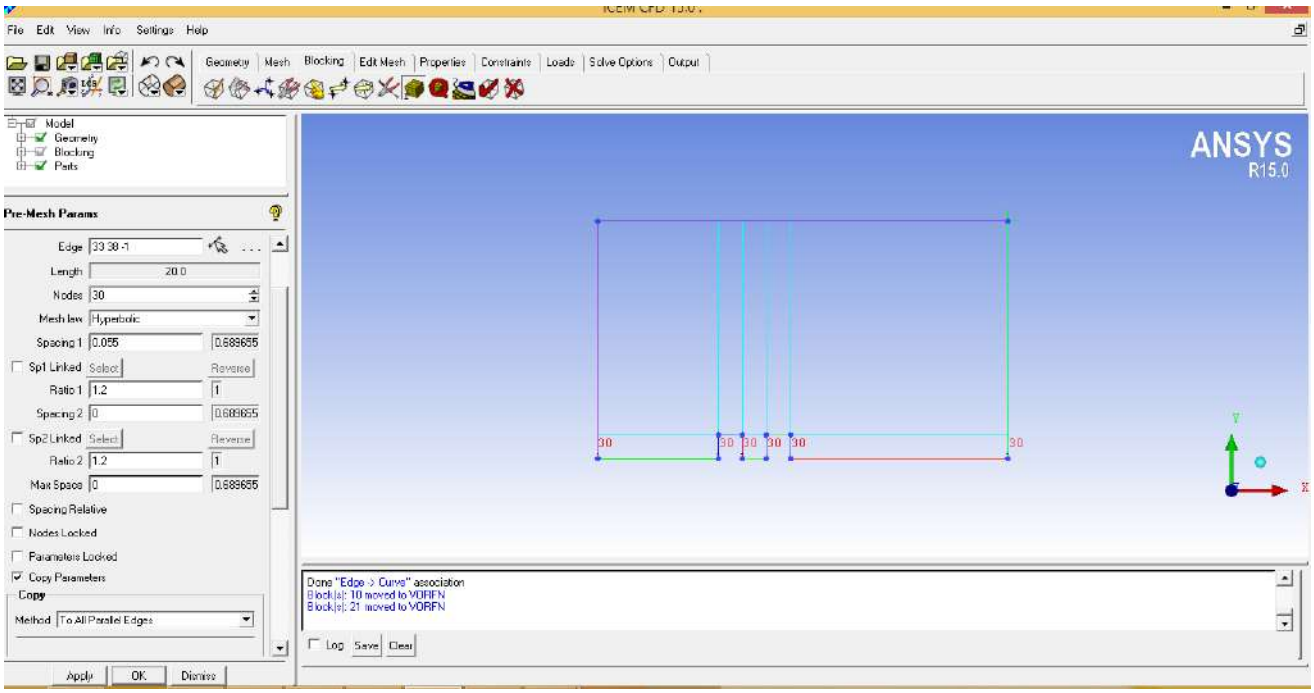


- De la barre latérale choisir « Edge Params ».



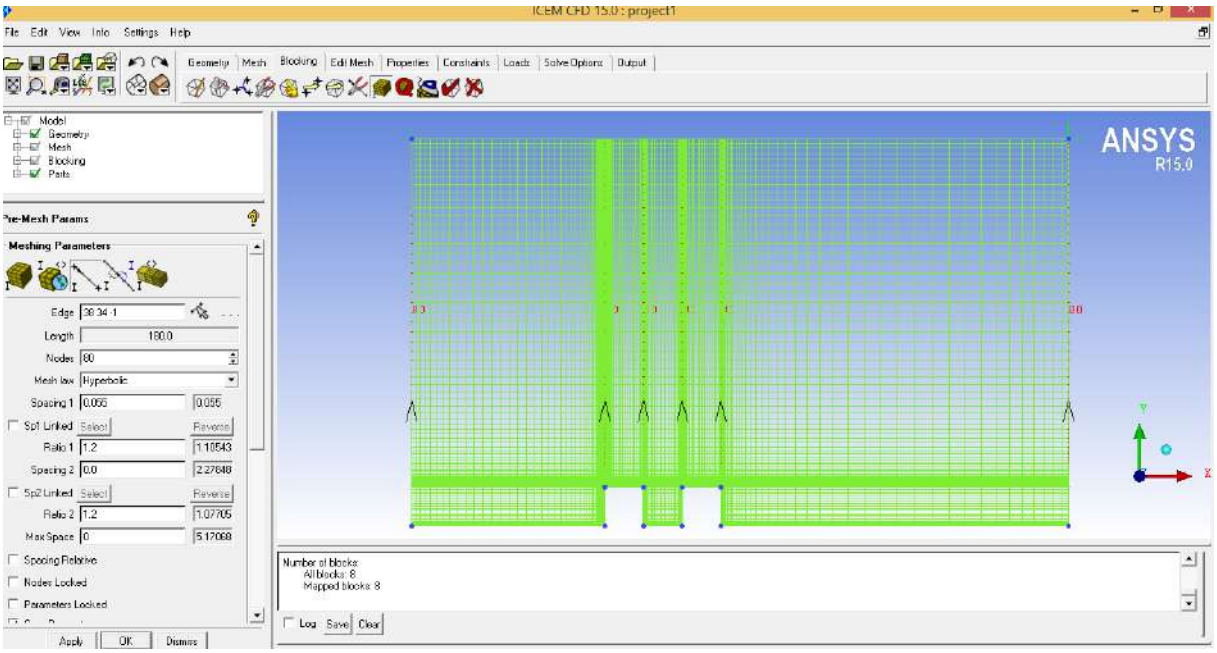
- Clique «choisir edge(s) » et puis choisir crv.00 dans view window.





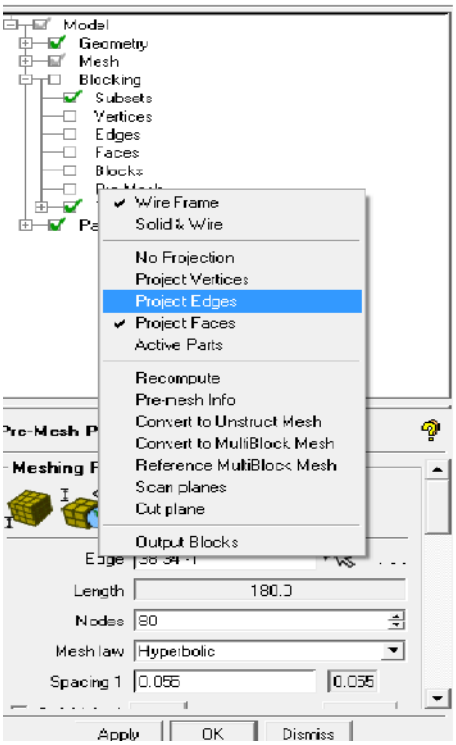
Quand on termine toute les lignes on clique sur << Apply>> et << Dissmis >>.

On clique sur << **pré mesh** >> on trouve les résultats suivant :



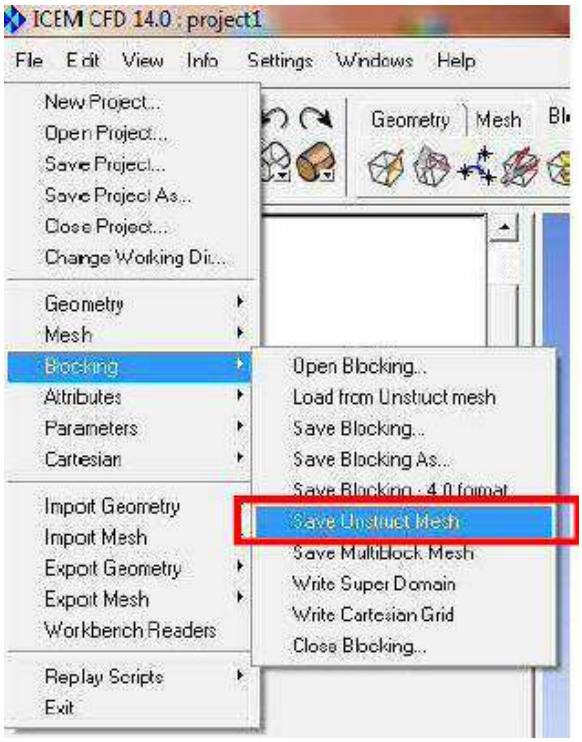
Maintenant on doit installer notre travaille pour l'exporter à CFX

On clique sur « Bloking » ensuite sur « Projet Edges »

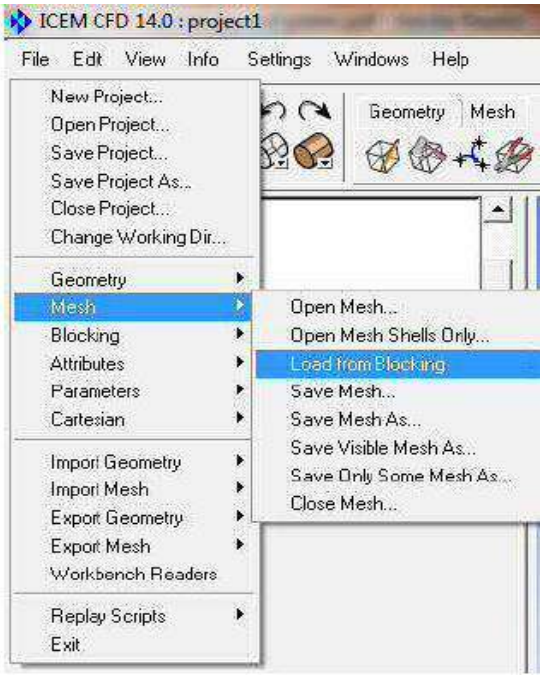


III-2.1.2.7.L'enregistrement :

- Choisir le « File » à partir de la « main menue », puis choisir « Blocking » et «Save Unstruct Mesh » dans les menus qui apparaissent :



Choisir « Dossier » du menu principal, puis choisir « Mesh » et « Load from Blocking » dans les menus qui apparaissent. Attendre un moment tandis que la maille est produite.



III.2.2- Écrire la maille à un dossier d'entrée pour CFX pre :

- L'étape finale est de créer un dossier lisible de CFX de la maille d'ICEM. Pour faire ceci, choisir « Output » des étiquettes d'option.



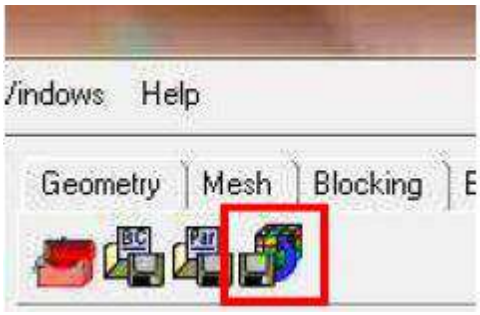
- Choisi  « Set solver » des boutons d'option. La barre latérale « Solver Setup » est ouverte.



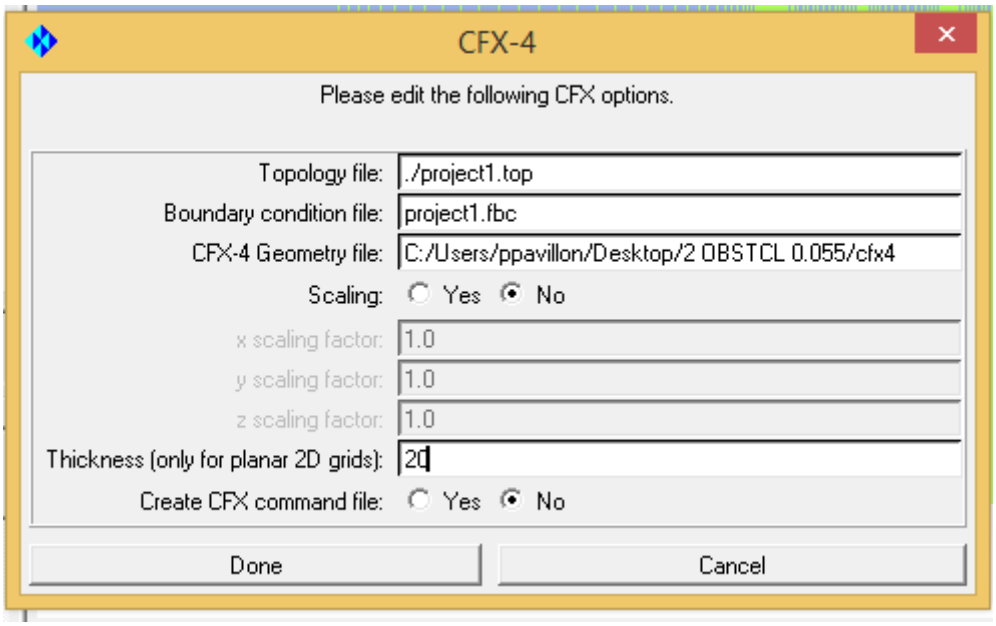
- Dans sidebar, placer « Output Solver » champ à « CFX-4 », « Common Structural Solver » champ à « ANSYS ».



- Clique  « Apply » et « Dismiss ».
- Choisir « Write input » des boutons d'option.



- Vous serez incité à sauver le projet en cours, choisir « Yes ».
- Une nouvelle fenêtre avec le titre « CFX4 » apparaîtra. mettre en place et placer « Thichness (onty for planar 2D grids) » à 20 m



- Clique « Done ».

III. 3 - Ansys CFX :

ANSYS CFX logiciel est une haute performance, usage général programme de la dynamique des fluides qui a été appliquée pour résoudre vastes problèmes d'écoulement de fluide depuis plus de 20 ans. Au cœur d'ANSYS CFX est sa technologie de solveur avancé, la clé pour atteindre des solutions fiables et précises rapidement et vigoureusement. La, solveur moderne hautement parallélisé est le fondement pour un vaste choix de modèles physiques pour capturer pratiquement ne importe quel type de phénomènes liés à l'écoulement du fluide. Le solveur et ses nombreux modèles physiques sont enveloppés dans un environnement graphique et utilisateur moderne, intuitif et flexible, avec des capacités étendues de personnalisation et d'automatisation en utilisant les fichiers de session, les scripts et une langue d'expression puissant.

Mais ANSYS CFX est plus que juste un code de CFD puissante. L'intégration dans la plateforme ANSYS Workbench, fournit des connexions supérieures bidirectionnelles à tous les principaux systèmes de CAO, la modification de la géométrie puissante et outils de création avec ANSYS Design Modeler, les technologies de maillage avancées dans ANSYS Maillage et le transfert glisser-déposer facile des données et les résultats à part entre les applications. Par exemple, une solution d'écoulement de fluide peut être utilisée dans la définition d'une limite de charge d'une simulation de la mécanique des structures ultérieure. Une connexion bidirectionnelle originaire d'ANSYS produits de la mécanique des structures permet la capture de même les plus complexes interactions fluide-structure (FSI) des problèmes dans le même environnement facile à utiliser, qui évite d'en acheter, administrer ou exécuter le logiciel de couplage tiers.

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

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

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

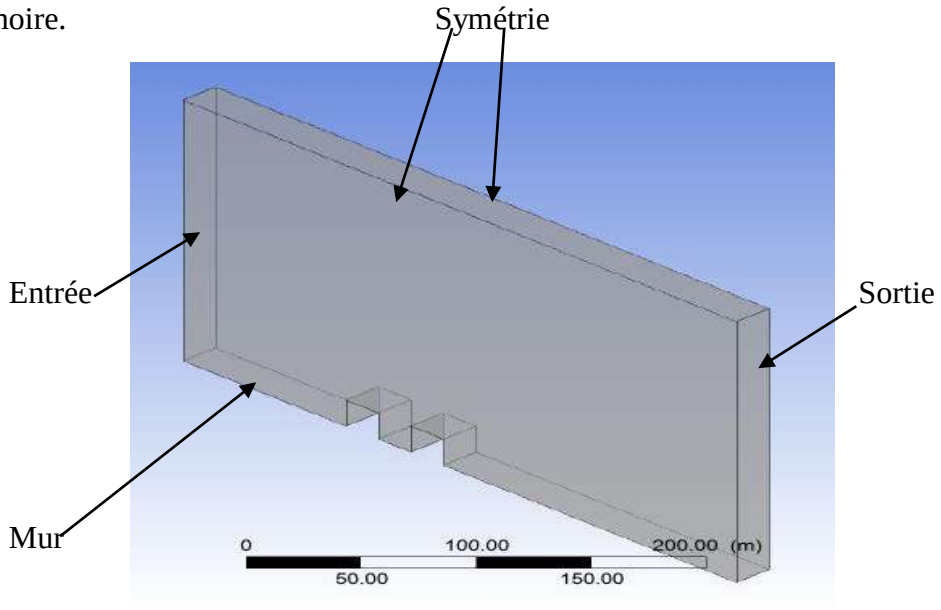
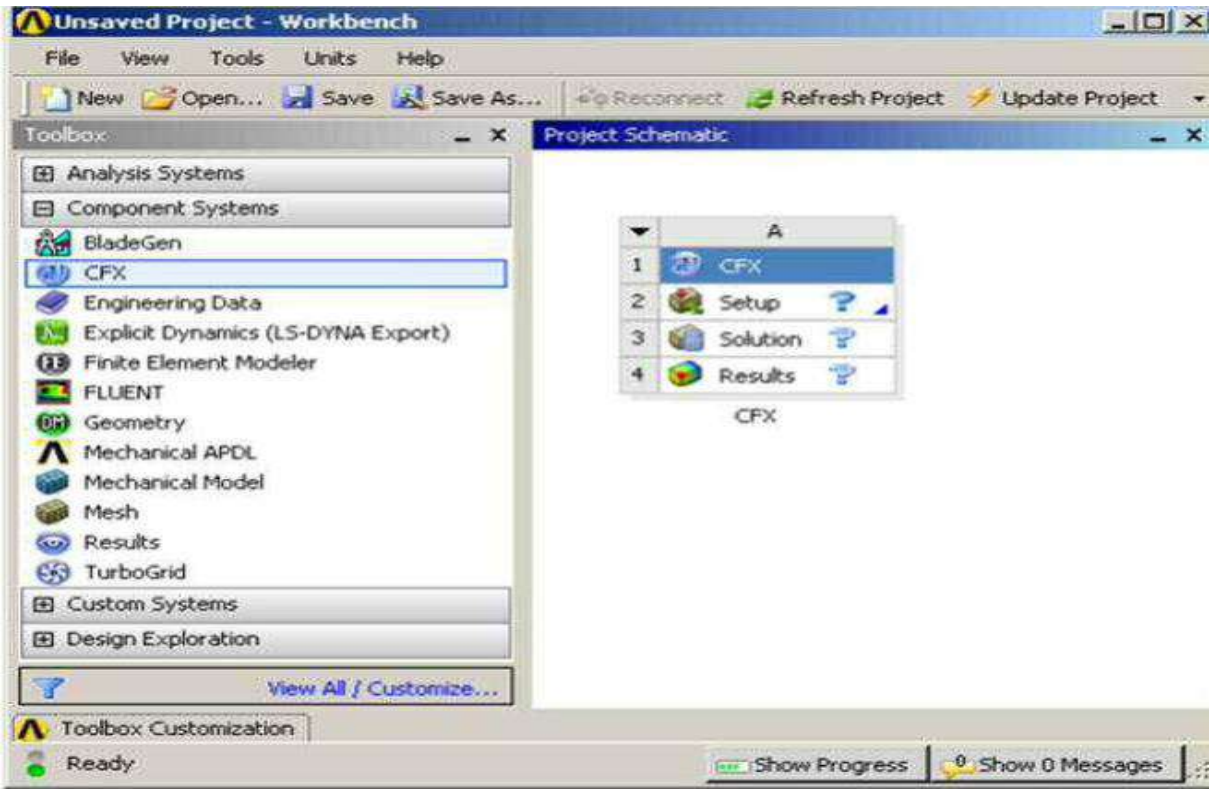


Figure III.2: géométrie du problème et conditions aux limites

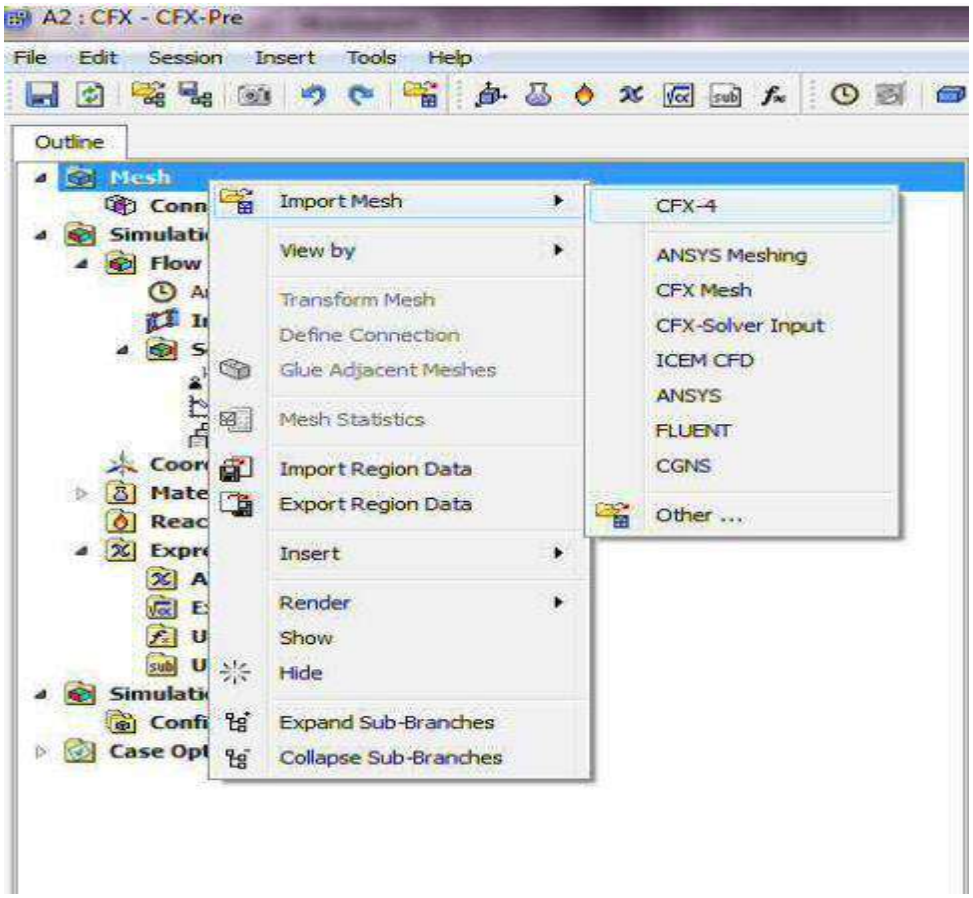
-Cliquer sur la barre d'outils d'analyse (CFX) pour créer le système, puis il faut enregistrer le projet, alors double cliquer dessus l'icône de la configuration (ou **Setup**) pour commencer le travail.



III.3.1 - CFX-Pre :

III.3.1.1 - La configuration :

Le premier pas est d'importer le maillage (mesh) déjà préparé précédemment à l'aide du programme **ICEM :**



- Avec le bouton gauche de la souris cliquer sur l'icône de Mesh  et choisir **Import Mesh** et **CFX-4** puis on cherche le maillage au format **CFX- 4 (*geo)**.

- Après import Mesh, cliquer sur le petit triangle de insert et choisie 

- Pour sélectionne les surfaces, dans l'onglet **Move face To Options** on crée le nom de la surface.

- Puis cliquer sur l'icône **Start Picking**, et cliquer aussi sur le petit triangle à cote de **SingleSelect**  et choisir **Flood Select** puis cliquer sur la surface et cliquer sur Apply.

Le même processus pour les restes des surfaces, et enfin cliquer sur Ok pour confirmation et passer au l'étape suivante.

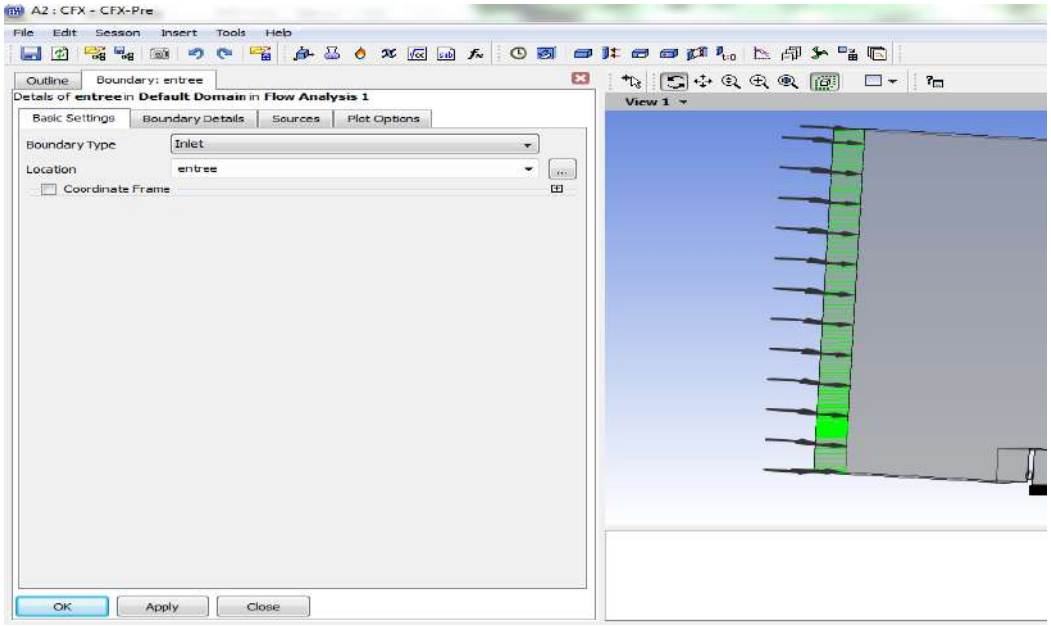
*** Les conditions aux limites :**

- À l'inscription des différentes conditions aux limites avec Create a Boundary Condition

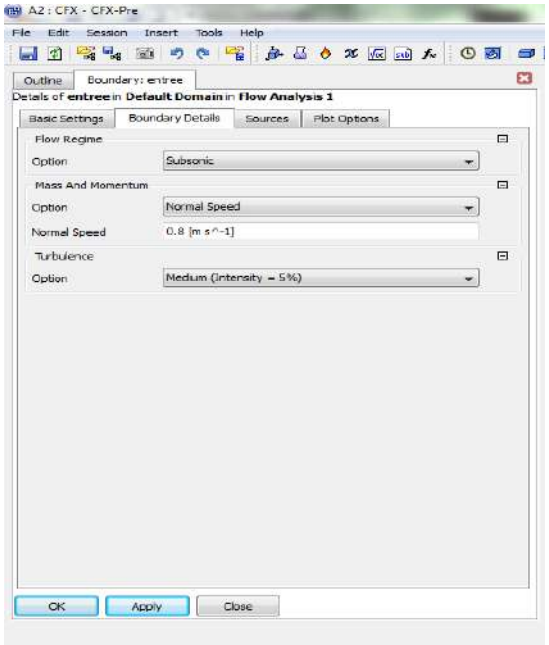
1- La première que l'on nomme Inlet < **Entrée >** permet de définir les propriétés aux surfaces d'entrée apparaît alors les détails sur Inlet en différent onglet suivant le type de frontière.

- Ici on sélectionne dans Basic Settings Type : Inlet < **Entrée** >.

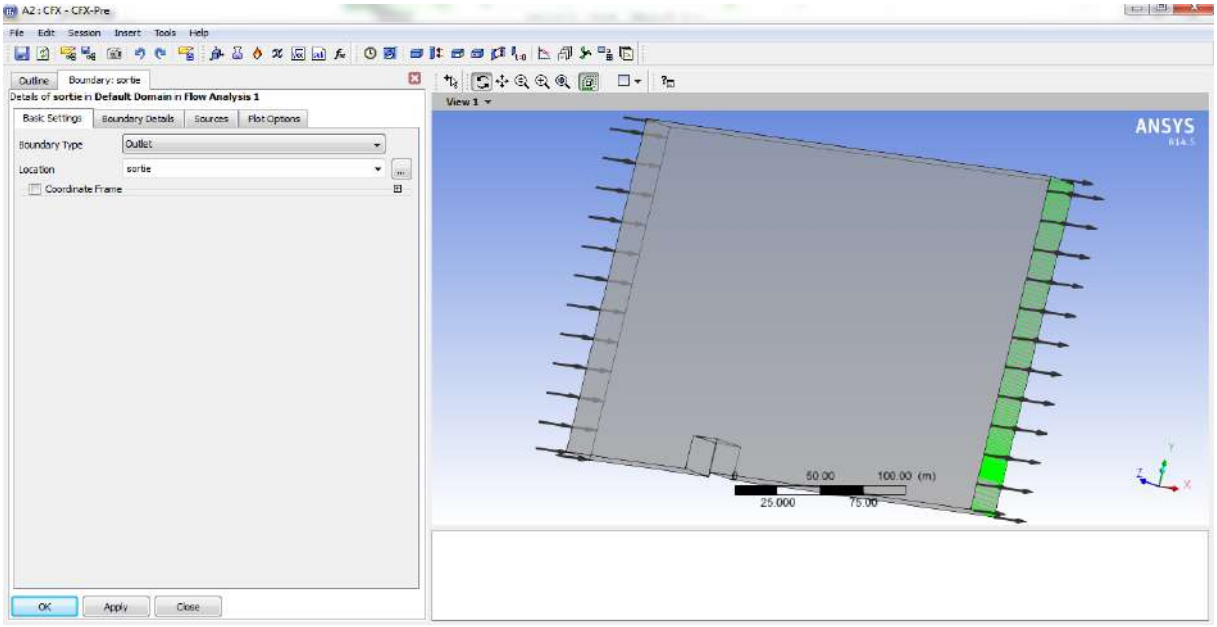
- Puis il faut choisir la localisation dans location : il suffit de sélectionner l'ensemble de la face Inlet.



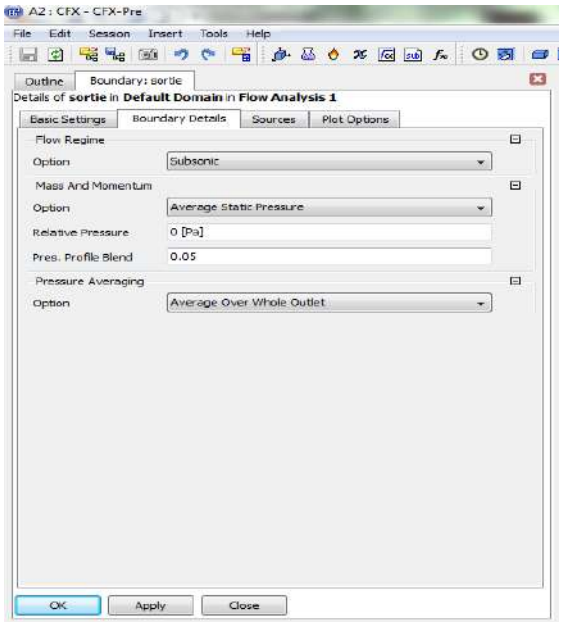
- Dans le volet Baundary Detail, on définit le régime du fluide dans Flow Regime, ici nous sommes en **Subsonic**. On définit aussi la vitesse d'entée dans (Mass and Momentum) avec l'option **Normal Speed**. On entre alors la valeur de la vitesse d'entrée sous forme d'équation.



2- La seconde condition limite que l'on nomme Outlet < **Sortie** > correspondra à la surface de sortie. On sélectionne donc la surface comme l'Inlet.



- Dans l'onglet Boundary Details, on définit la pression de la sortie dans (Mass and Momentum) avec l'option Average Static Pressure, que l'on n'impose nulle **Pression Relative**.
- Et les autres volets sont laissés intacts.

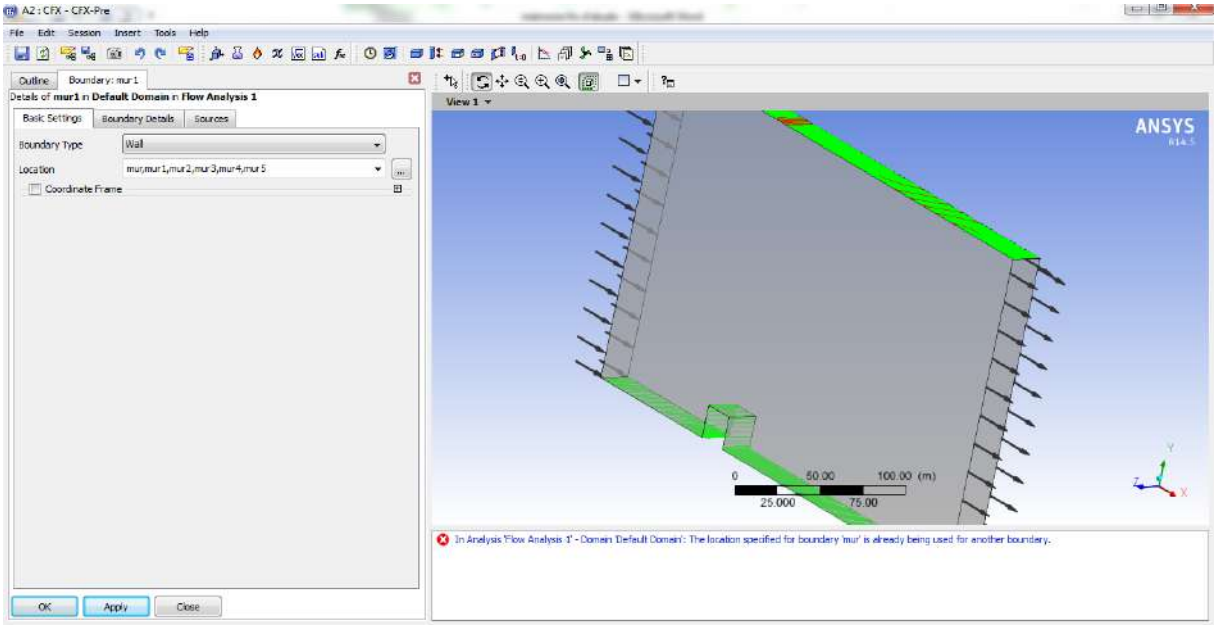


3- La troisième condition limite appelé Profil correspond à la paroi que représente le profil.

- Dans Basic Settings, Boundary Type on choisit Wall, et dans location on choisit Profil.

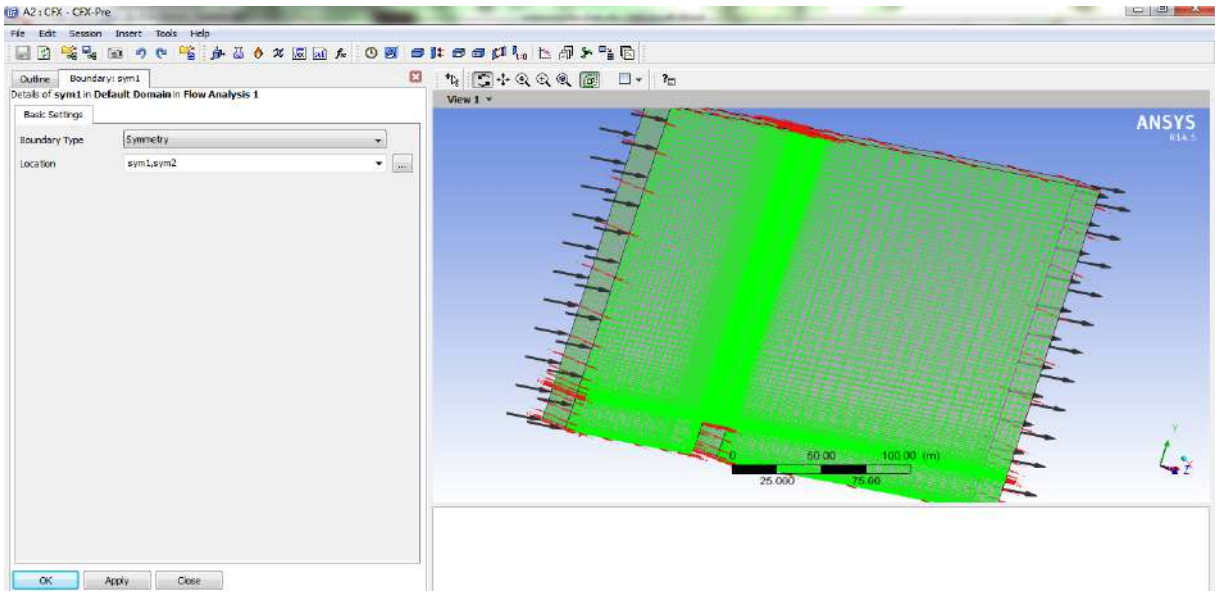
- Dans l'onglet Boundary Details, on définit dans Wall Influence à **Heat Flux** avec l'option **No Slip Wall** et en pression relative aussi avec l'option **Smooth Wall**.

- Et les autres onglets sont laissé intactes **Sources et Plot options**.



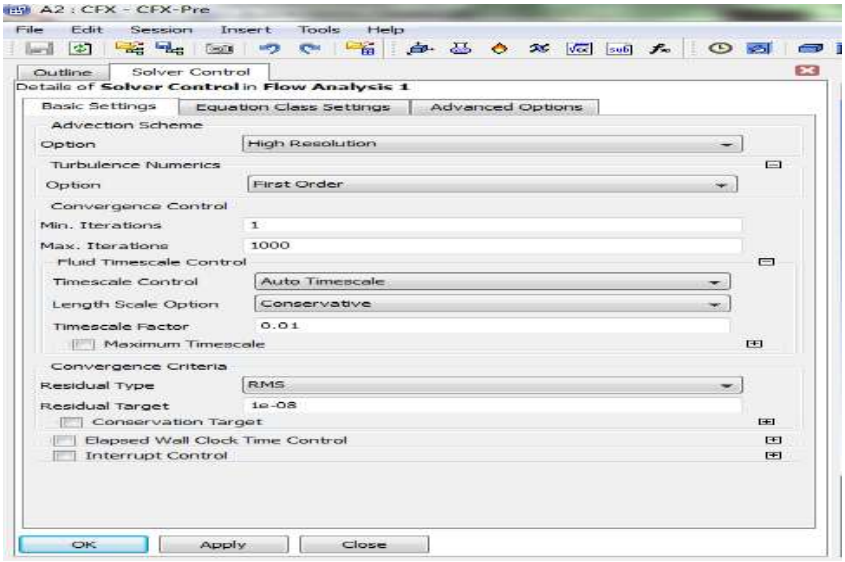
4- La dernière condition limite inclut deux conditions et sont les conditions de symetrie, symetrie1 <**SYM1**> et symetrie2 <**SYM2**>.

- Dans Basic Settings, Boundary Type on choisit Symmetry, et dans location on choisit SYM1 puis SYM2.



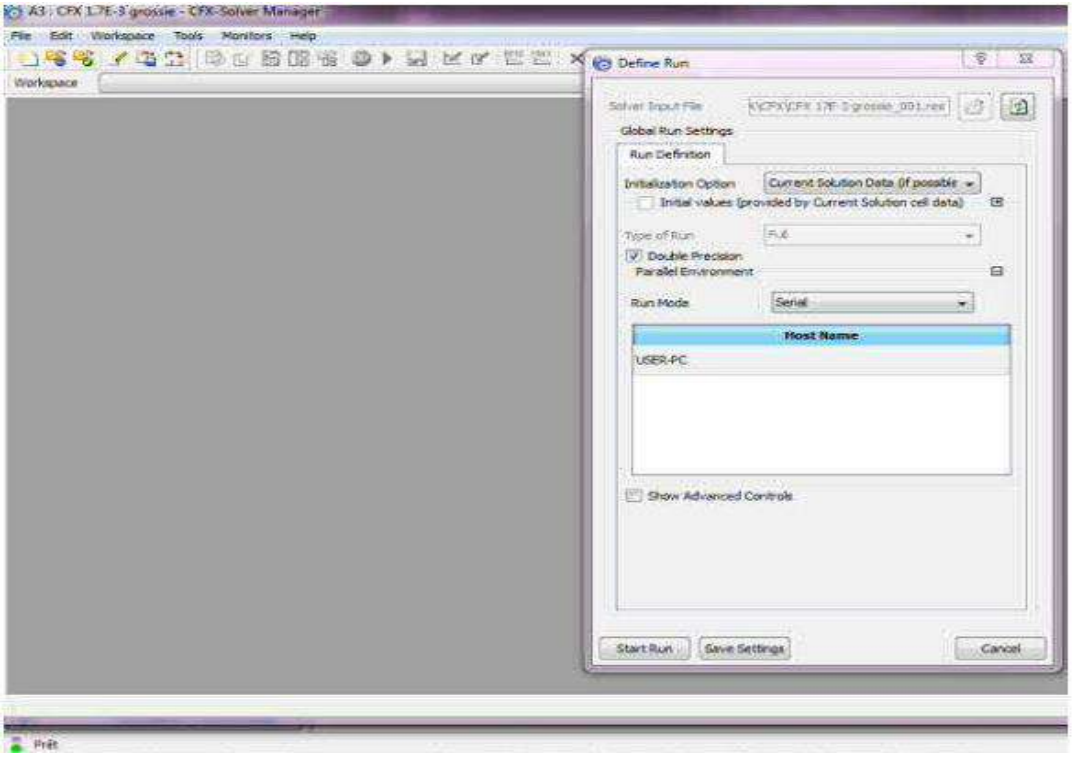
- Et le dernier pas dans CFX-Pre, on définit les contrôles de résolution dans Solver Control. Dans l'onglet Basic Settings, on choisit les contrôles de la **Convergence Control** en choisissant dans d'une simulation transitoire un nombre minimal et un nombre maximal d'itération intermédiaire.et dans même onglet on définit aussi le **Fluid Timescale Control**, Timescale Control on choisit **physical Timescale** et Residual Type **<RMS>.**

- Les autres onglets sont laissés intacts **Equation Class Settings et Advanced Options**.



III.3.2 - CFX-Solver : (La résolution)

- Dans Run Définition, on choisit **Double Precision Parallel Environment** pour préciser l'environnement de résolution.



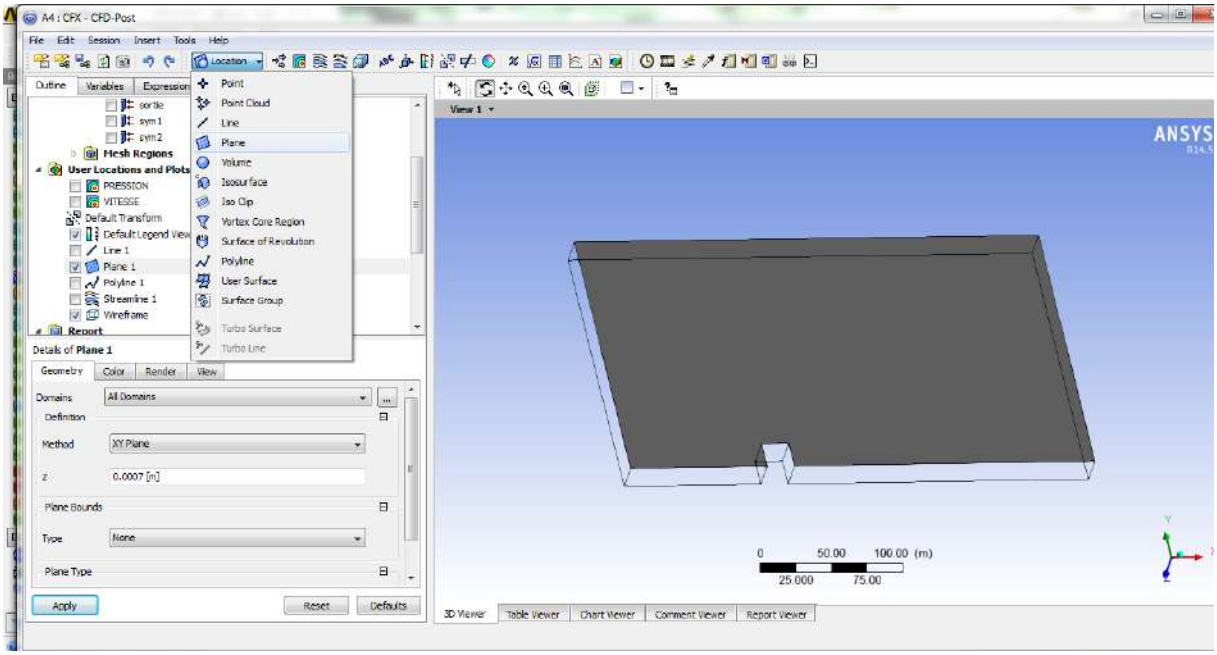
- Enfin, on lance le calcul en cliquant sur l'icône **Start Run**, apparaissent alors différents onglets dont (Mass and Momentum) et Turbulence permettant de voir l'évolution des résidus de ces quantités, Wall Scale permettant de voir l'évolution du Wall Scale, et User Points qui nous permet de voir l'évolution des Monitor Points choisis.



III.3.3 - CFD-Post : (La solution)

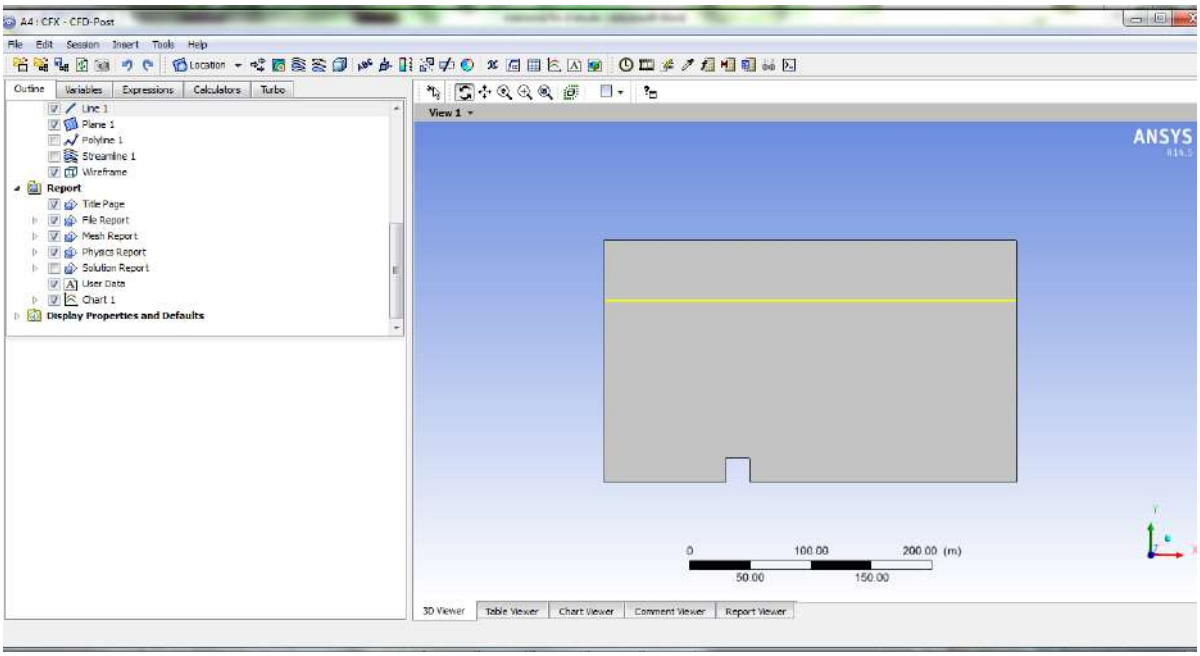
- On commence avec location  qui permet de dessiner des lignes, des plans, des volumes et des surfaces par leur cordonnées.

1- Dans location, on choisit plane pour insérer le plane, puis cliquer sur Ok.

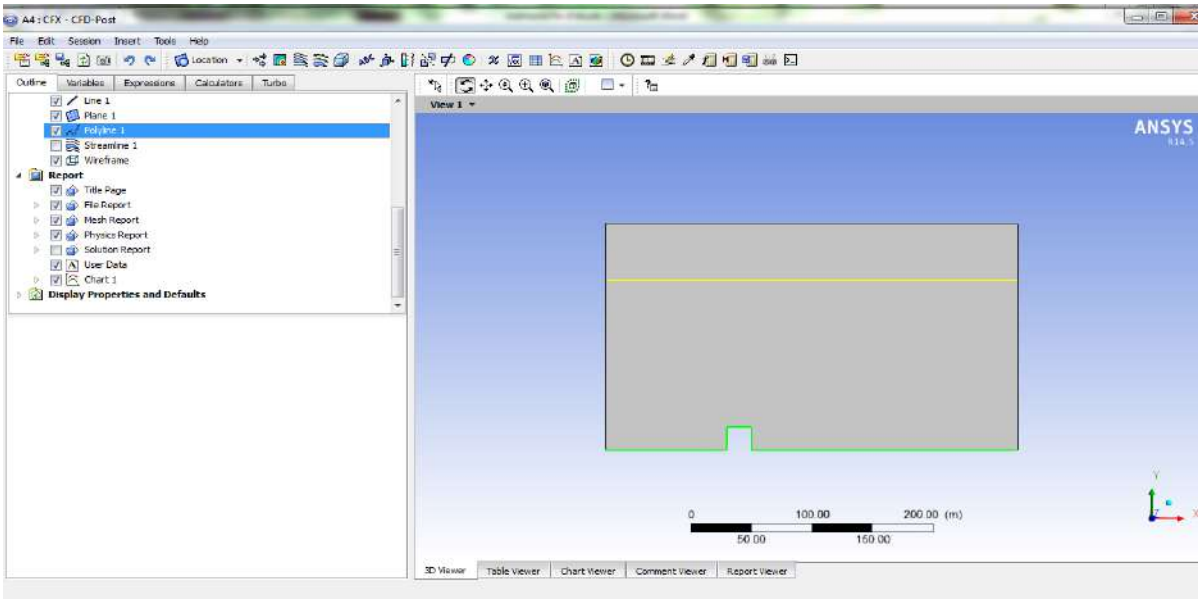


2- Dans location, on choisit ligne pour insérer la ligne puis cliquer sur Ok.

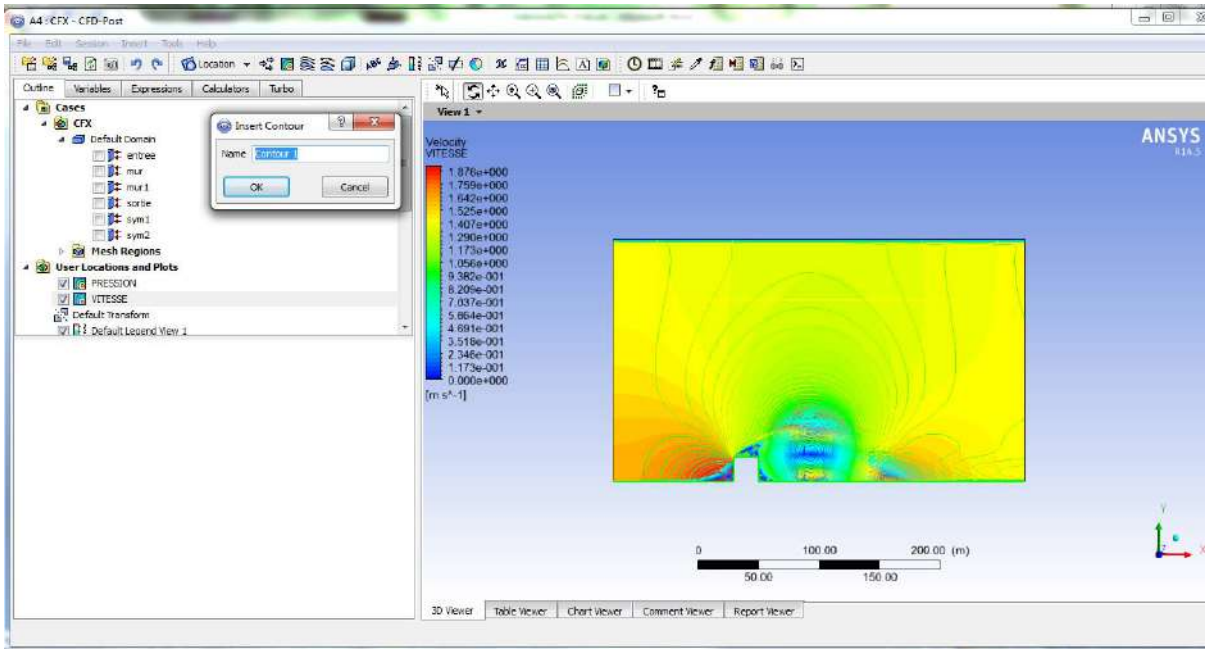
- Pour la confirmation de l'opération on insert les cordonnées de la ligne puis cliquer sur Apply.



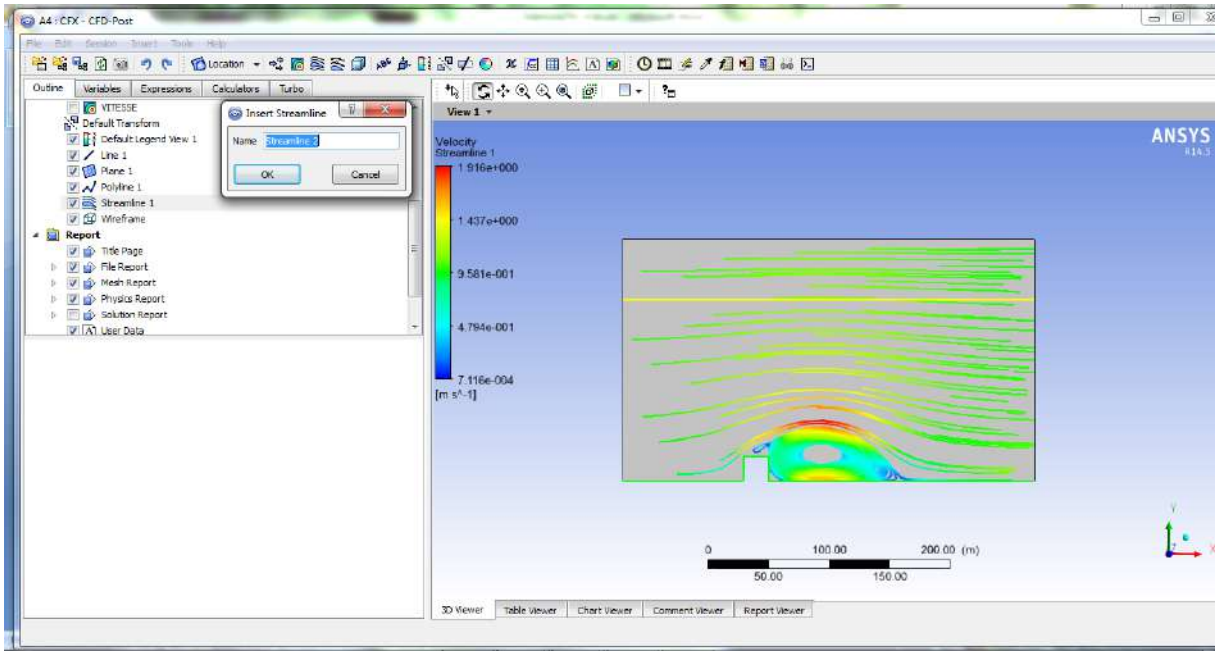
3- Dans l'onglet location, on définit la poly line et dans l'onglet méthode <**Boundary Itersection** > et dans Boundary List on choisit SYM1 ou SYM2 et pour Intersecté on choisit mur puis clique sur Apply.



4-on définit les contours de pression et de vitesse, on clique sur le bouton de contour :



5- on dèfinit streamline :

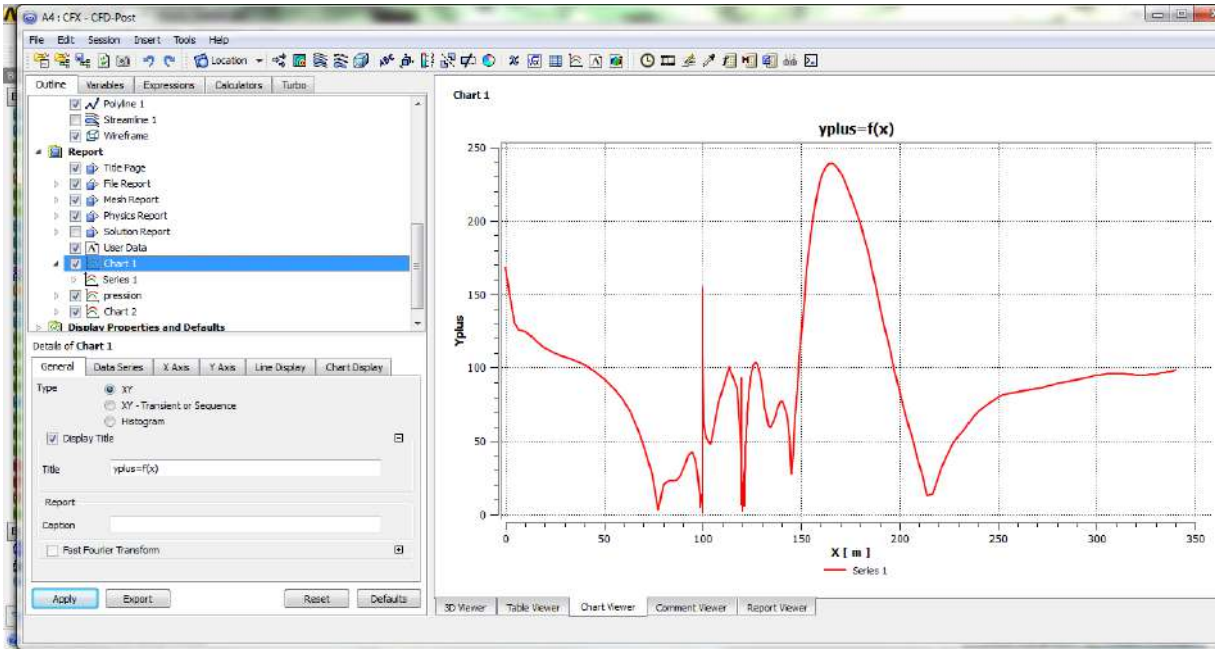


On peut insérer un graphique à l'aide de Chart 

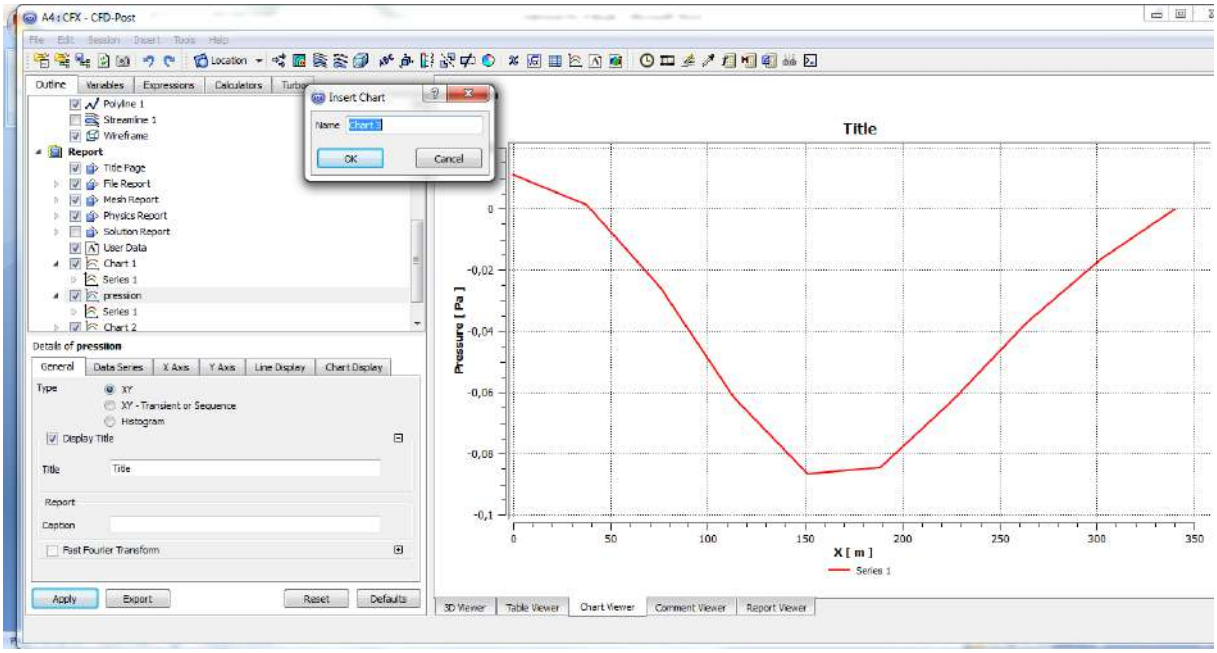
- Dans l'onglet **Chart**, on choisit le Type XY, dans l'onglet Chart line1, on choisit dans location la polyline que l'on a créé. Dans Y Axis on Sélectionne la variable de vitesse, la pression, et dans X Axis on sélectionne la variable X relative. En cliquant sur Apply. On exporte le graphique au format*.csv, afin de pouvoir le retraiter.

1-chart de polyline :

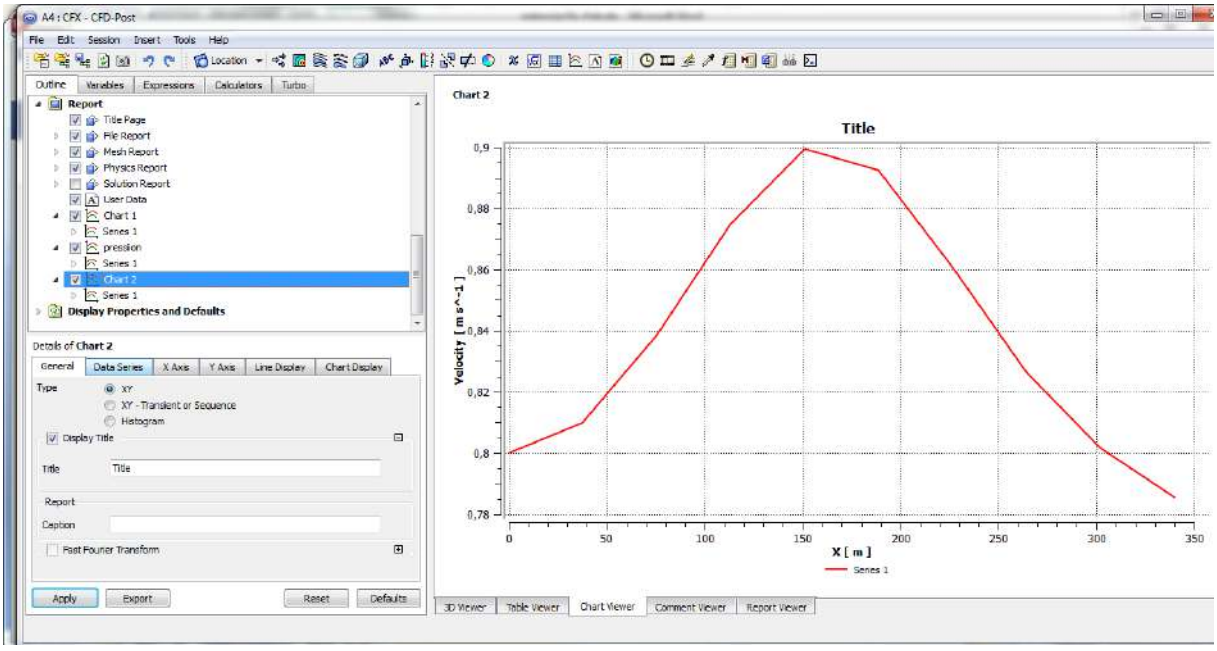
:



2-chart de pression :



3-chart de vitesse :



Chapitre IV :

Configuration et sensibilité au maillage

IV.1 _ Introduction :

Dans ce chapitre, on décrit la configuration géométrique étudiée (Figure (IV.1)).Un test de sensibilité au maillage a été faite en comparant les différents maillages élaborés dans l'ICEM et l'ANSYS CFX.

Dans notre cas, on a utilisé le modèle *k*-Ɛ.

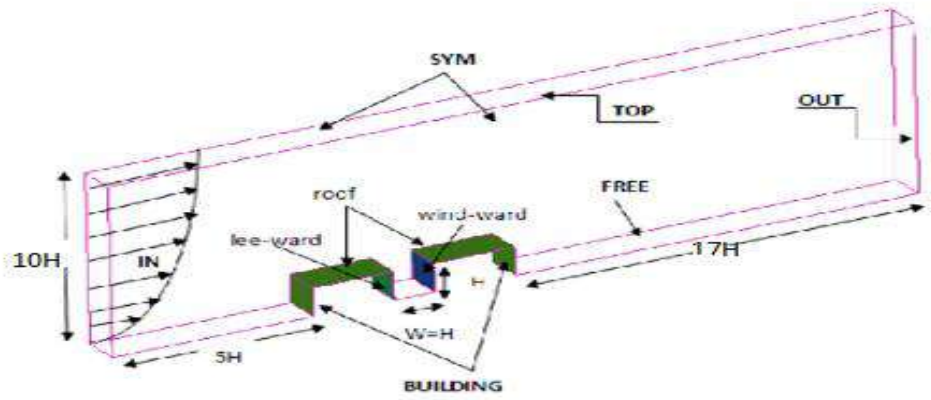


Figure IV.1 : géométrie en 3D

IV.2 _ Sensibilité au maillage :

IV.2.1 -Maillage avec l'ICEM :

On utilise un maillage créé à l'aide du logiciel ICEM CFD et on le vérifie par l'ANSYS CFX en analysant le profil de (Y+).

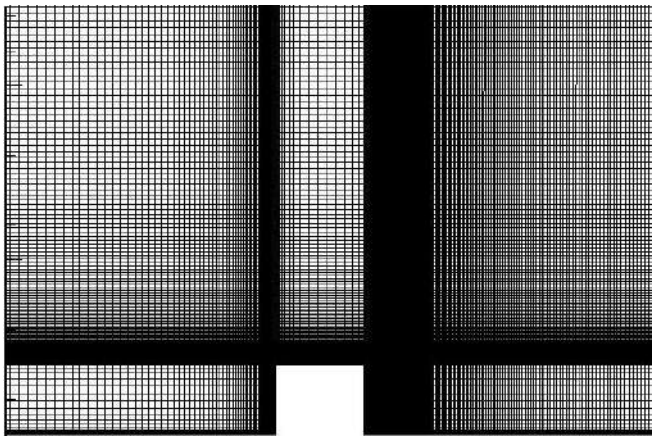


Figure IV-2: Maillage Centre grossier (nombre des nœuds=181600)

IV.2.2 _ Tableau des positions du 1er nœud :

On a testé les cinq cas de maillage suivants :

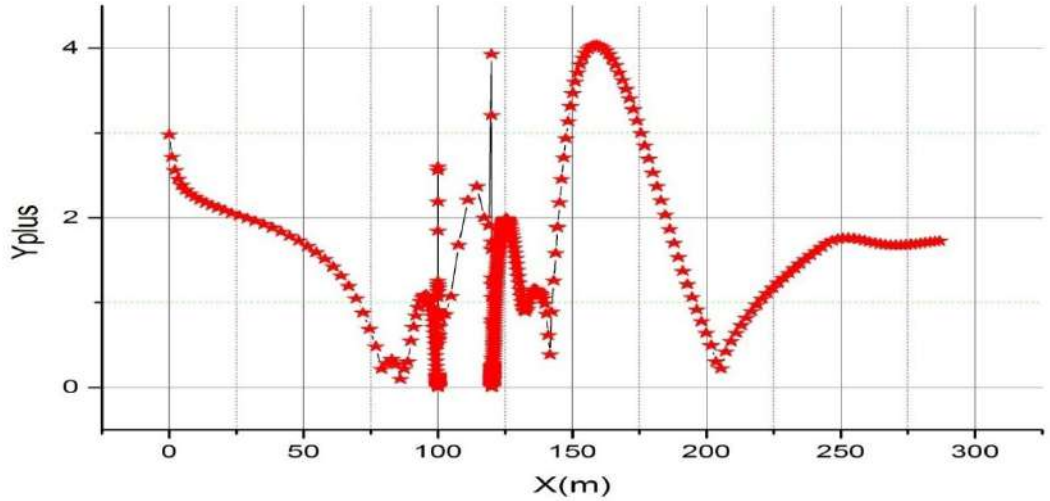
Tableau IV- 1: Les coordonnées des positions du 1er nœud

	Nombre des nœuds	Position du 1er nœud	Y plus
Maillage M1	181600	0.00099	<5
Maillage M2	181600	0.0020	5-6
Maillage M3	181600	0.0088	25
Maillage M4	181600	0.055	30
Maillage M5	181600	0.065	> 30

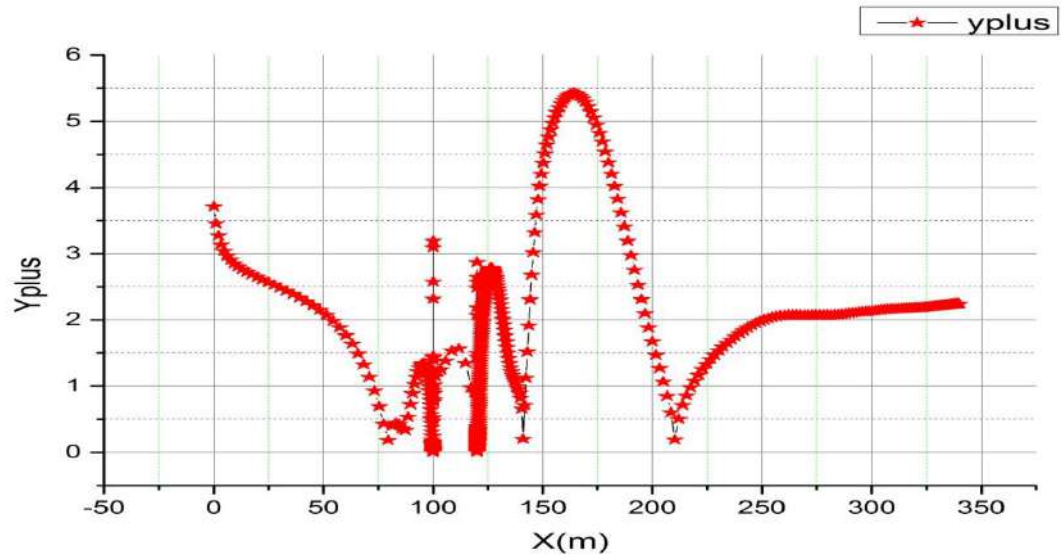
IV.2.3 _ Les graphes de Y plus :

Pour chaque maillage, on a étudié l'évolution de la fonction Y+ afin de tester l'efficacité du maillage proposé pour étudier la turbulence en utilisant le modèle adopté.

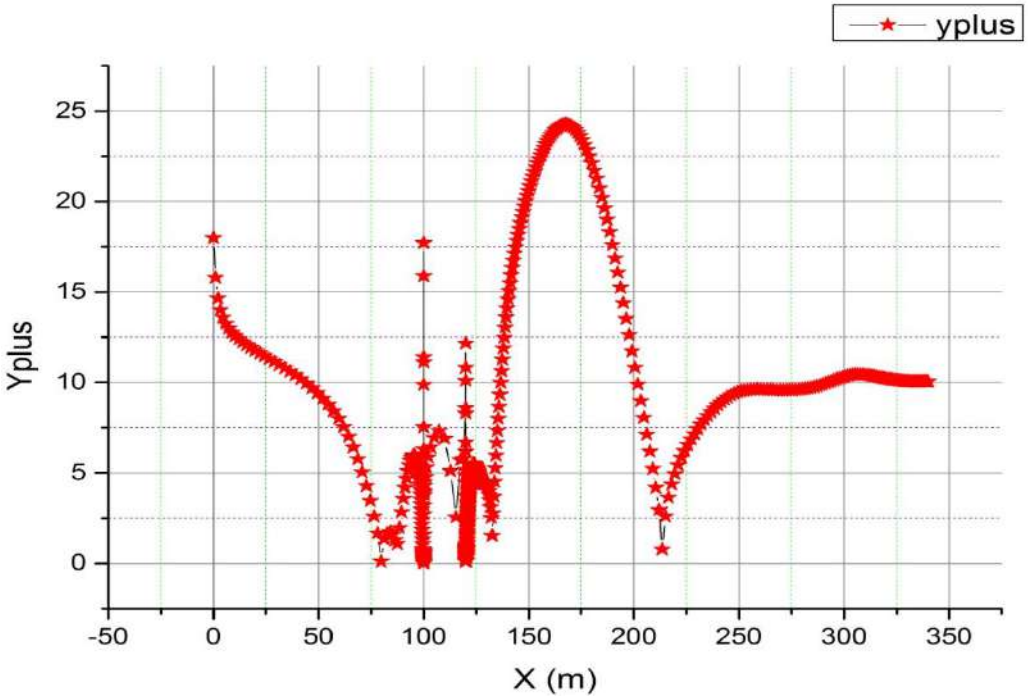
Maillage M1



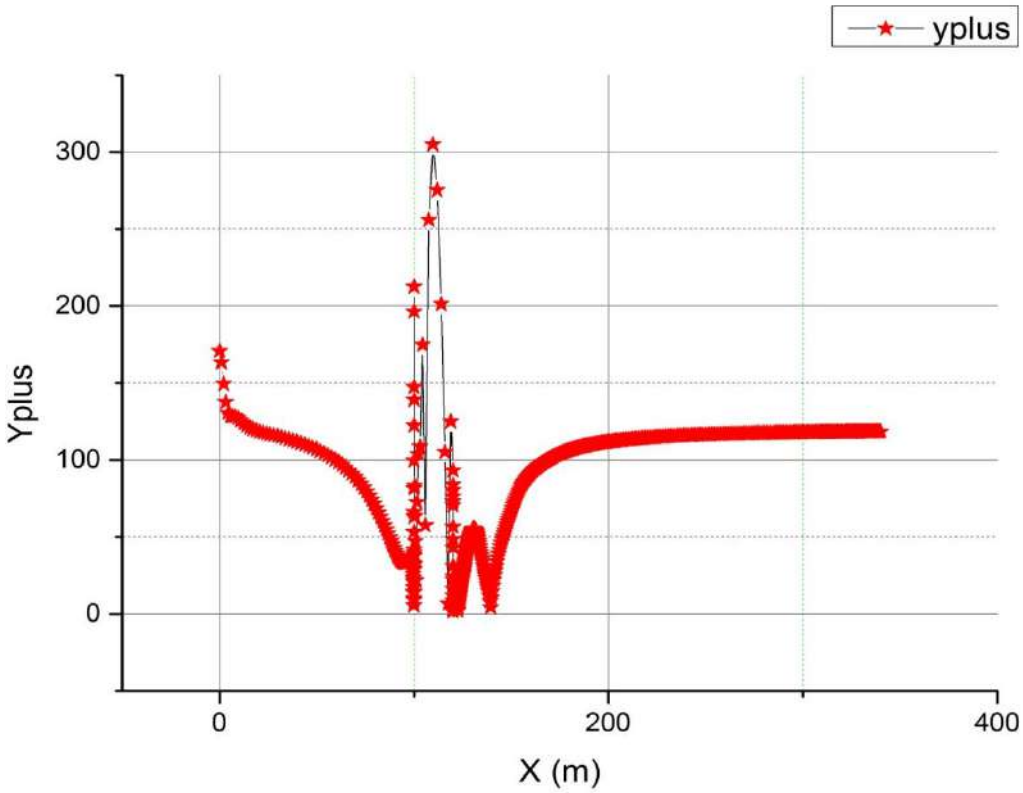
Maillage M2



Maillage M3



Maillage M4



Maillage M5

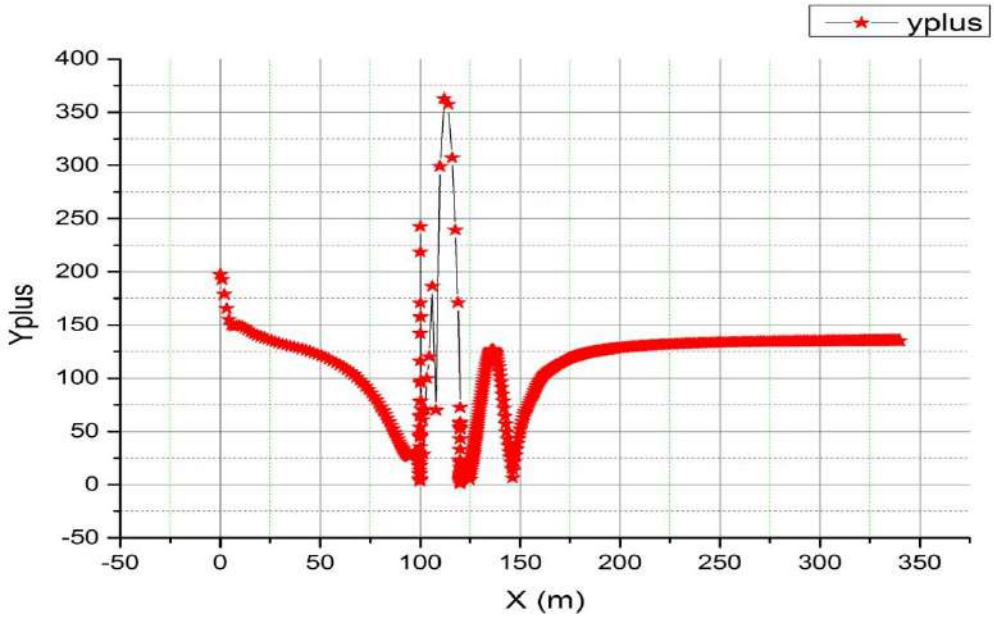


Figure IV- 3: Influence du maillage sur le profil de Y plus pour les cinq maillages

Nous choisissons le maillage M4 parce qu'il permet d'avoir un Y+ >=30 qui correspond au modèle de turbulence K-ε.

Un 2eme critère pour le choix du maillage à adopter consiste à examiner l'effet du maillage sur l'évolution de la vitesse et celle de la pression en comparant avec les valeurs expérimentales tirées de la bibliographie**.**

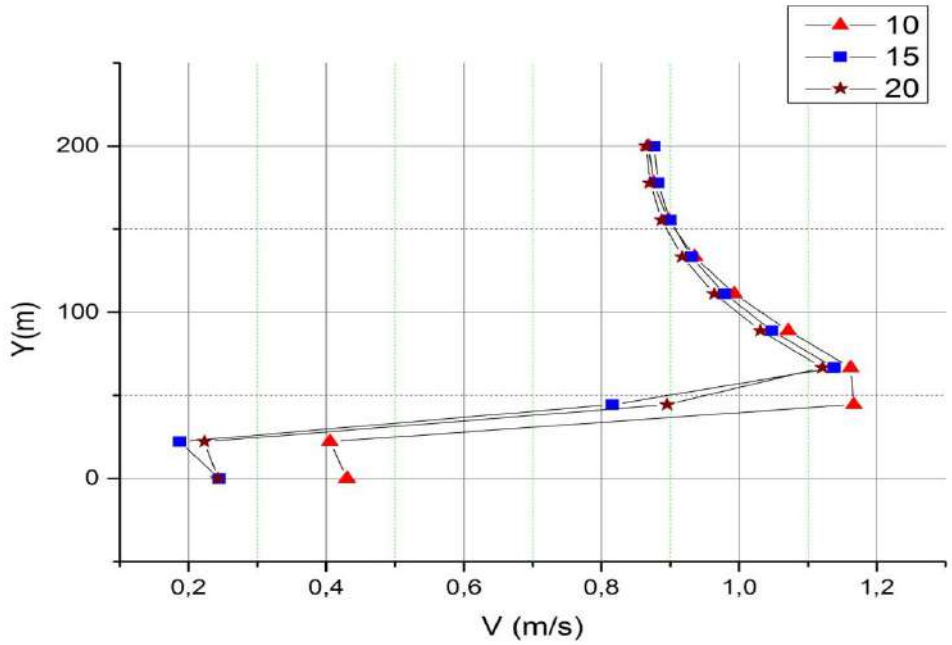
On a présenté les champs de vitesse et de pression et en utilisant différents nombre de nœuds.

IV.2.4 _ Tableau des nombres des nœuds :

Tableau IV- 2: Les coordonnées des Maillages

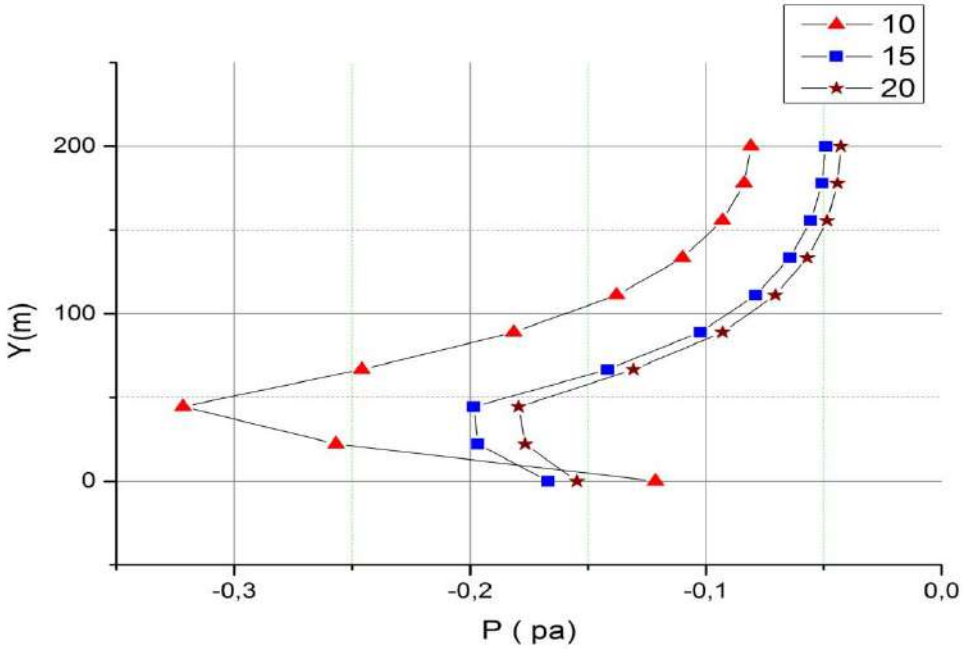
	Nombre des nœuds
Maillage M6	45000
Maillage M7	101850
Maillage M8	181600

IV.2.5 _ Le graphe de vitesse :



Figures IV.4 : Influence du maillage sur les vitesses pour différentes valeurs de raffinement de maillage

IV.2.6 _ Le graphe de pression :



Figures IV.5 : Influence du maillage sur les pressions

On remarque que les maillages M7 et M8 permettent d'avoir des solutions qui convergent et que la solution devient indépendante du maillage. On adoptera alors le maillage M8 pour toute la simulation présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre v :

Résultats et discussions

V .1 _ Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les résultats des simulations numériques de l'écoulement de l'air dans un canal avec deux obstacles selon la configuration décrite au chapitre IV. L'étude est faite en utilisant le modèle de turbulence k-Ɛ et k-w.

Par ailleurs, on a utilisé un profil de Poiseuille et un profil Uniforme pour la vitesse à l'entrée.

Une étude paramétrique a été menée pour mettre en évidence l'effet de la vitesse d'entrée.

Partie A : Etude de l'écoulement dans un canal avec deux obstacles :

A-1. Condition aux limites :

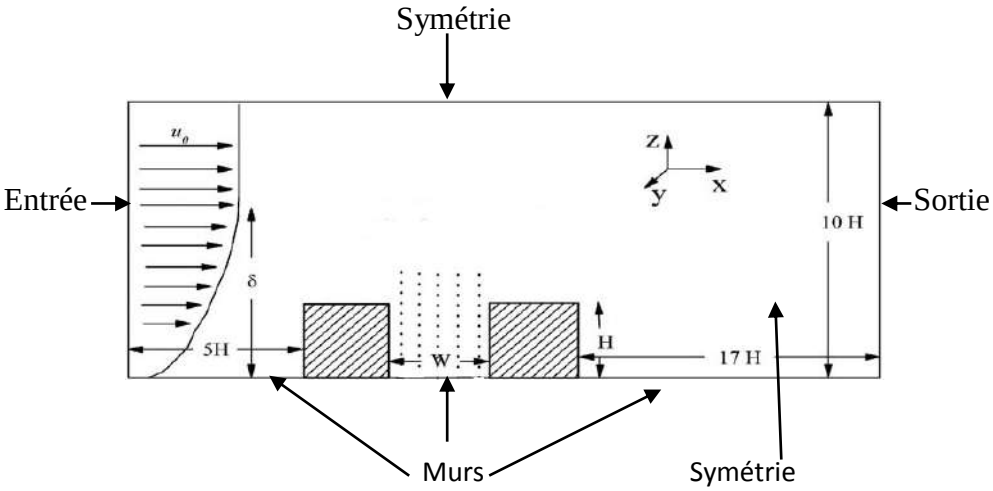


Figure V.1.Géométrie en 2D avec les conditions aux limites

A-2.Etude paramétrique :

A-2-1.Effet de choix de modèle de turbulence k-Ɛ :

- **Effet de l'intensité de la vitesse (uniforme) :**

Pour connaitre l'effet de la vitesse du vent, on effectue le calcul pour différentes valeurs de la vitesse à l'entrée, à savoir (0.43, 4, 7) m/s.

L'écoulement est complètement turbulent. Les figures ci-dessous présentent les contours de la vitesse(V), pression (P), dissipation (Ɛ) et turbulent (k).

1- Les contours :

- **Contour de vitesse V :**

V=0.43 m/s : **V=4 m/s :** **V=7 m/s :**

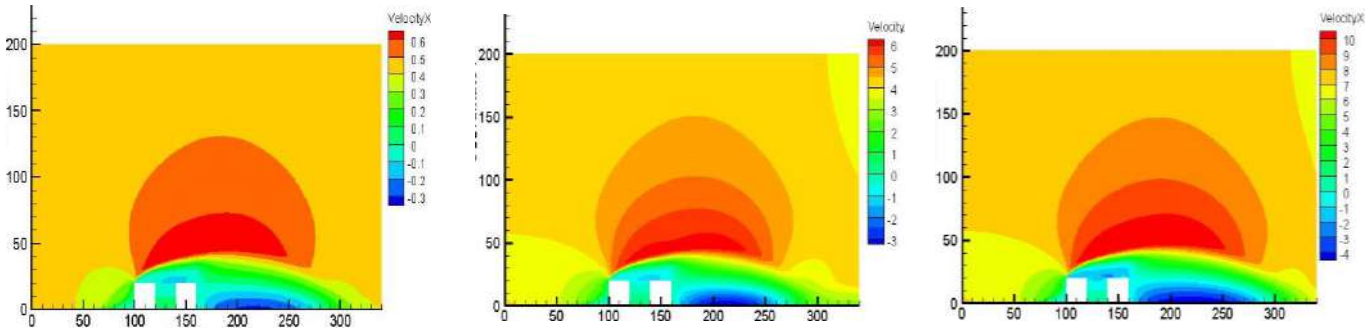


Figure V.2.Les contours des vitesses V= (0.43, 4,7) m/s

La figure (V.2) et les graphes (V.7) présentant les contours de la vitesse montre que les vecteurs vitesses avant le premier obstacle s'élèvent et changent de direction pour former une zone de fort gradient de vitesse

Contour de pression P :

Pour v=0.43 m/s : **Pour v=4m/s :** **Pour v= 7m/s :**

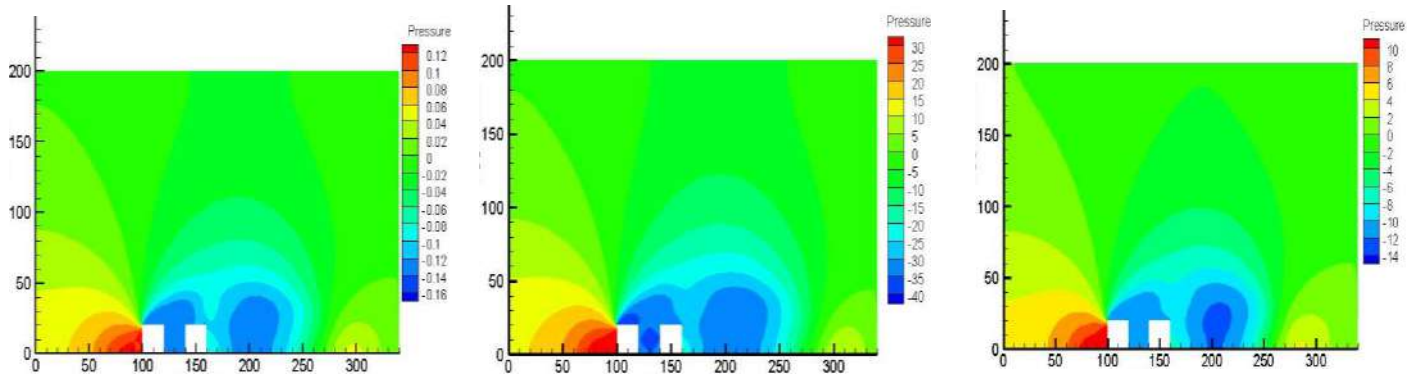


Figure V.3. Les contours des pressions V= (0.43, 4,7) m/s

On remarque d'après la figure (v.3) et les graphes(V.8) que la pression est trop élevée avant le premier obstacle dans les trois cas et commence à diminuer progressivement entre les deux obstacles et après le deuxième obstacle tend vers une valeur nulle (Patm=0 Pa) lorsqu'on s'éloigne verticalement des obstacles.

- **Contour de turbulent K :**

Pour v=0.43 m/s : **Pour v=4 m/s :** **Pour v= 7 m/s :**

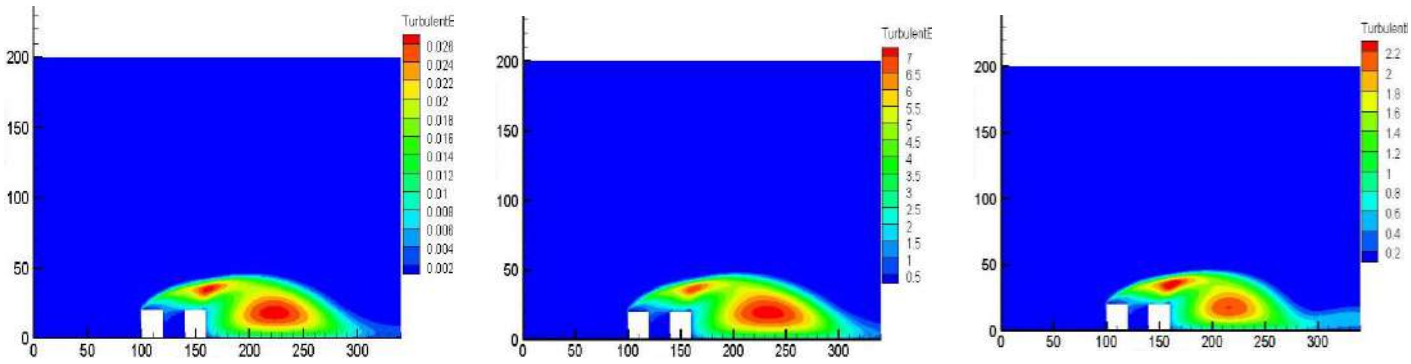


Figure V.4. Les contours des turbulents K, V= (0.43, 4,7) m/s

Le turbulent K, figure (v.4) et même pour les graphes sont doivent être faible devant le premier obstacle et monte progressivement entre les deux obstacles et après le deuxième obstacle, puis tomber tout en se déplaçant loin des obstacles.

- **Stream line :**

pour v=0.43 m/s : **pour v=4 m/s :** **pour v=7 m/s :**

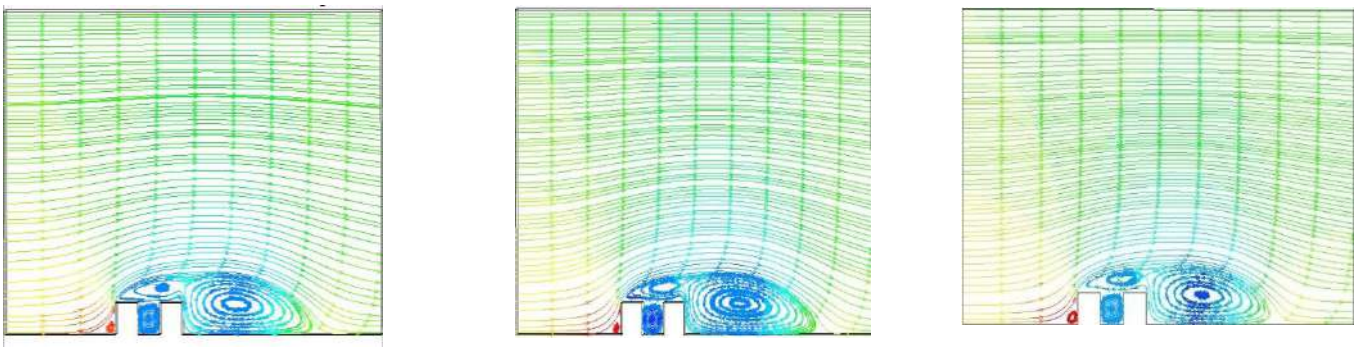


Figure V.5. Les Stream line V= (0.43, 4,7) m/s

La figure (V.5) des lignes de courant qui illustre l'existence des trois zones de recirculation avant, au-dessus du 1er obstacle et entre les deux obstacles et après le 2eme obstacle.

Les graphes :

- **Les graphes de vitesse :**

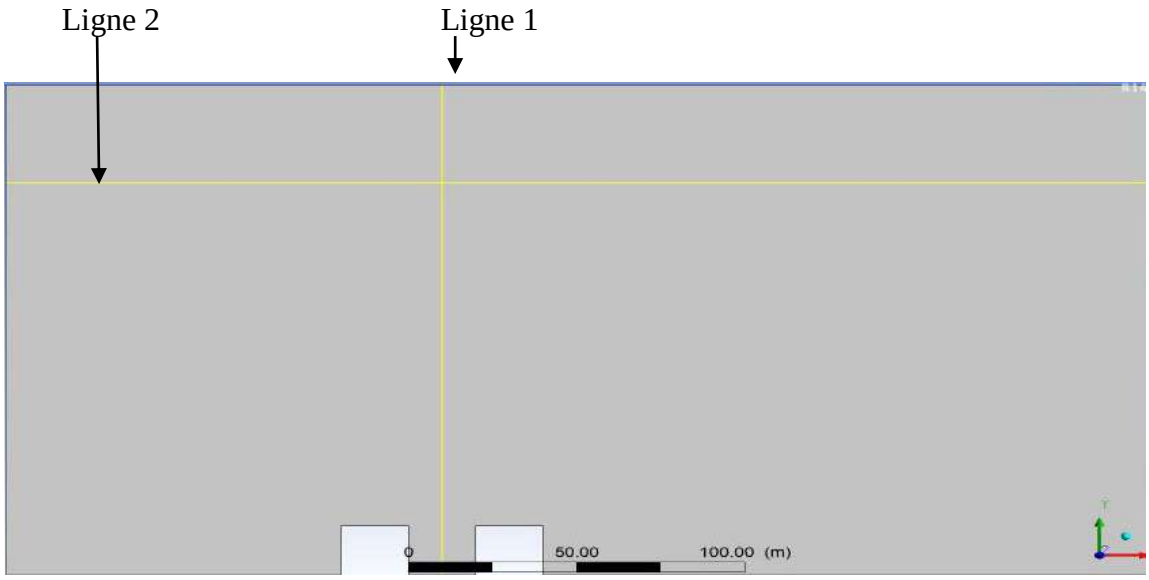


Tableau V- 1: Les coordonnées des stations de mesure (lignes)

	X	Y
Ligne 1	130	0
	130	200
Ligne 2	0	160
	340	160

Ligne 1 :

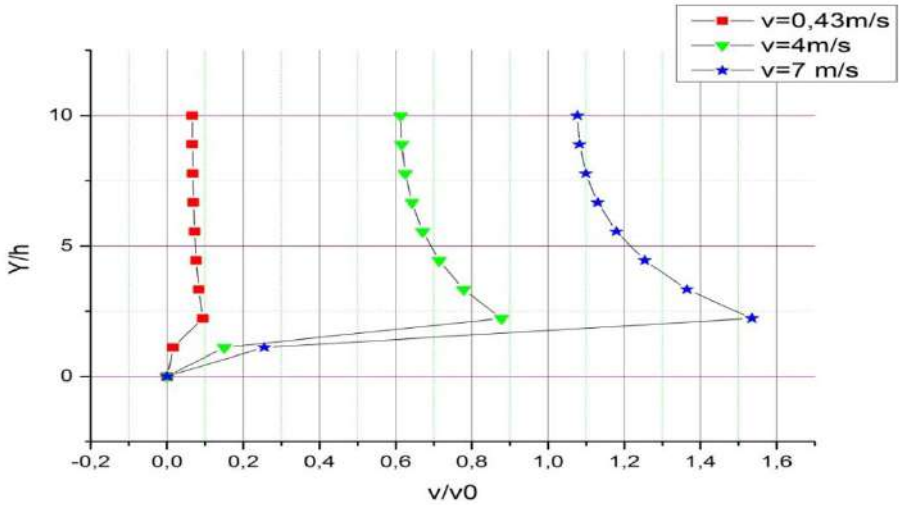


Figure V- 6: profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (y)

Ligne 2 :

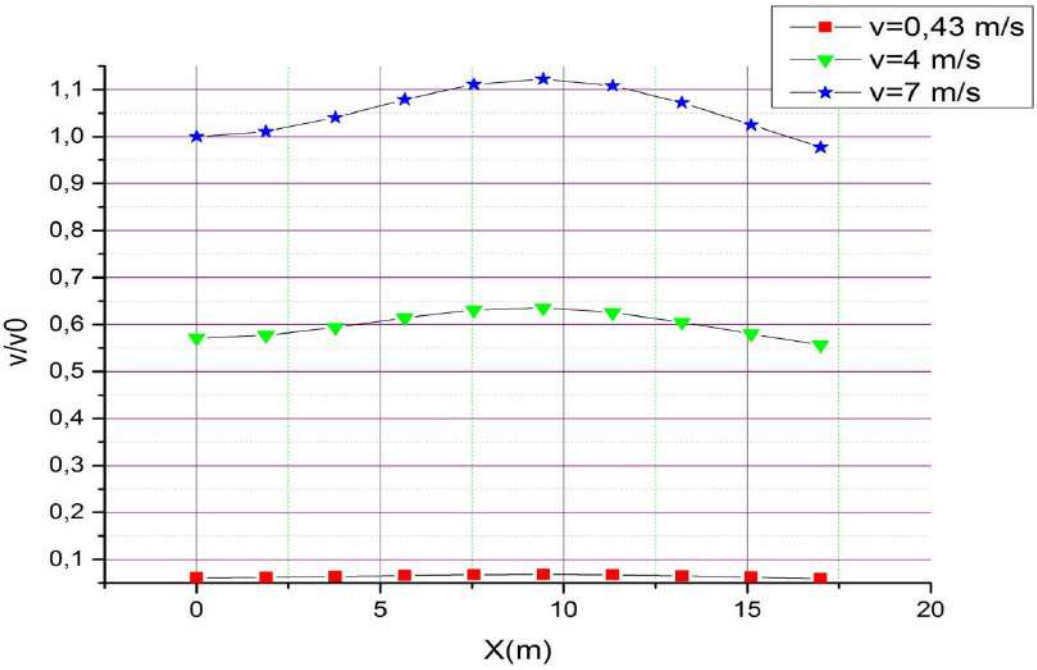


Figure V.7. Profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (x)

- **<u>Les graphes de pression :</u>**

Ligne 1

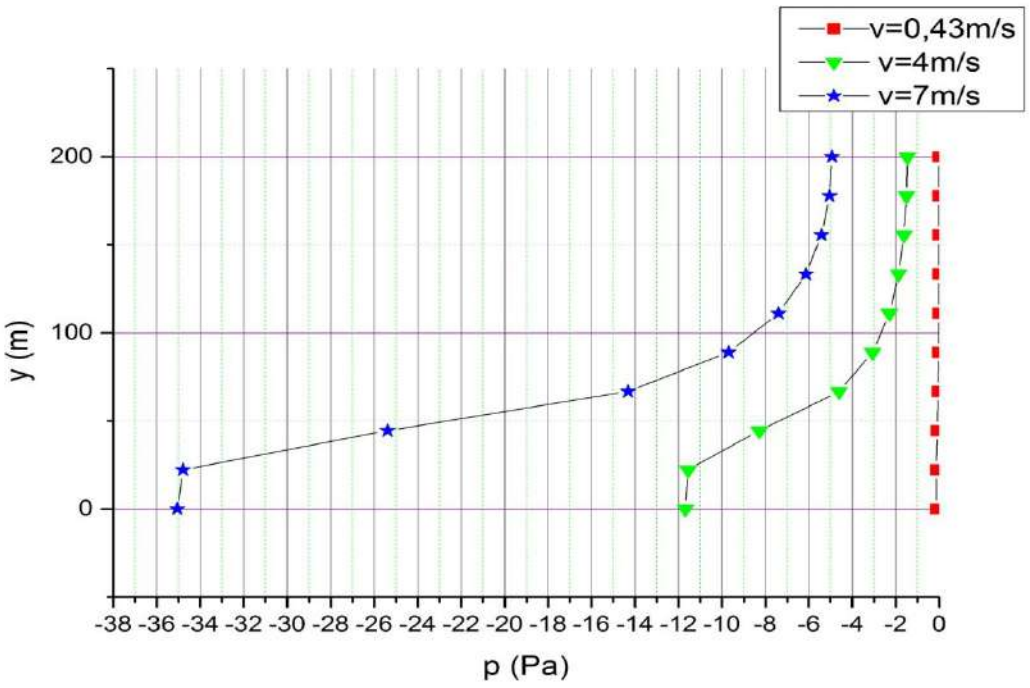


Figure V- 8: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)

Ligne 2 :

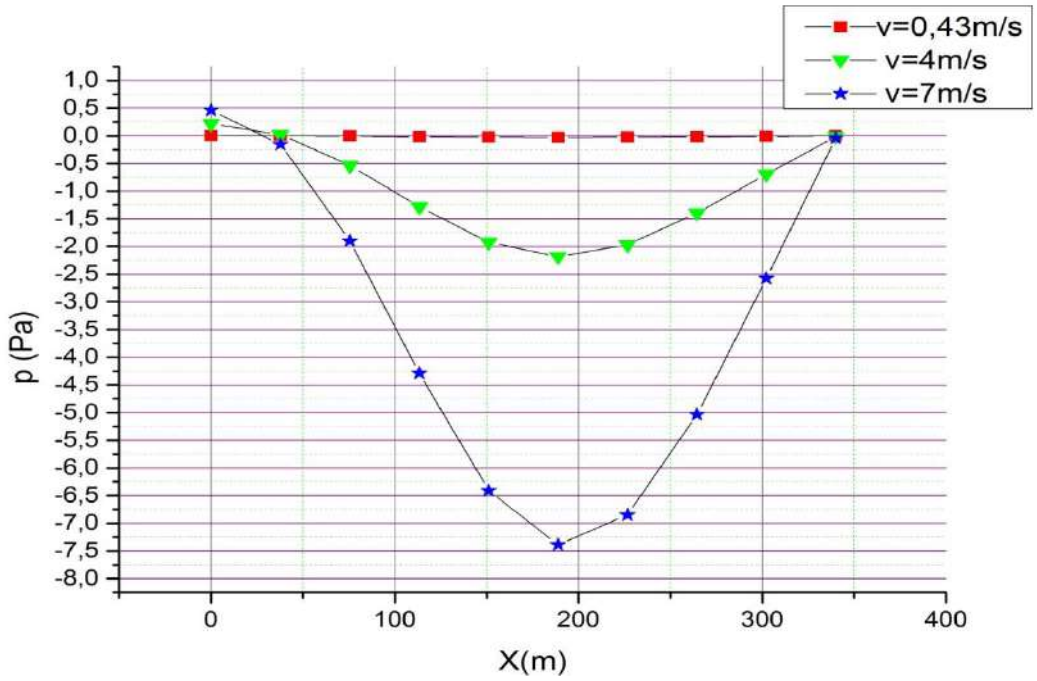


Figure V- 9: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)

- **<u>Les graphes de la dissipation Ɛ :</u>**

Ligne 1 :

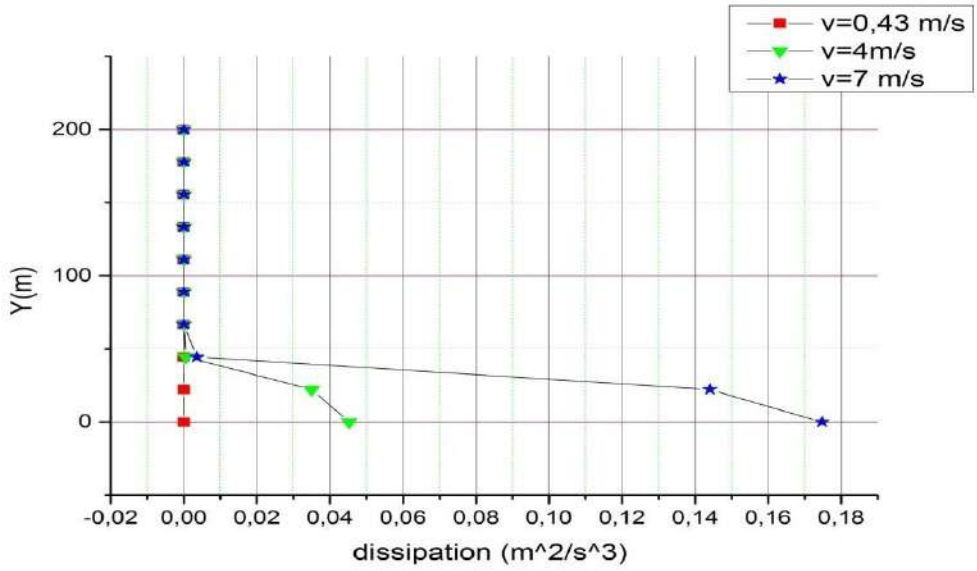


Figure V- 10: profils des dissipations pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)

Ligne 2 :

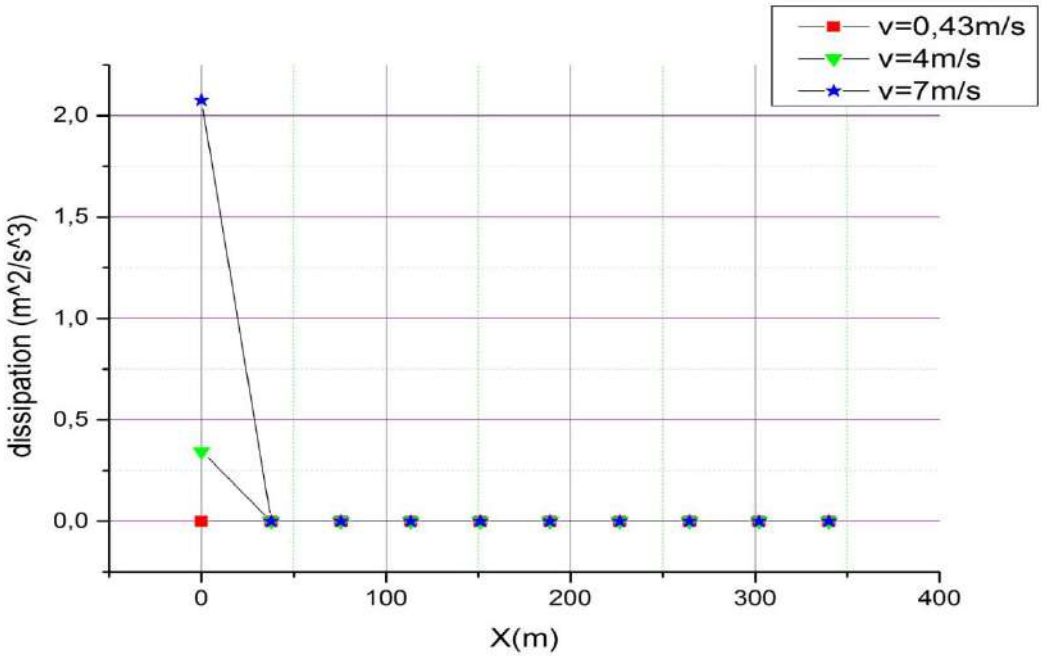


Figure V- 11: profils des dissipations pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)

Les graphes (V. 9) montrent que la dissipation Ɛ est très faible dans les trois cas de la vitesse.

<u>Les graphes de la turbulent K :</u>

Ligne 1 :

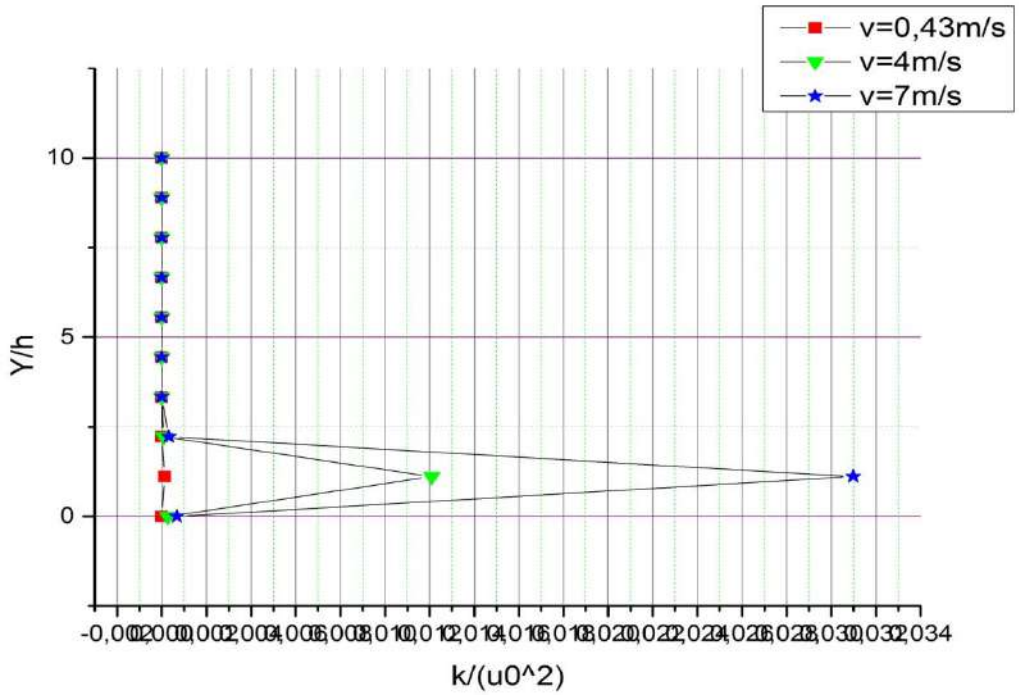


Figure V- 12: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (Y)

Ligne 2 :

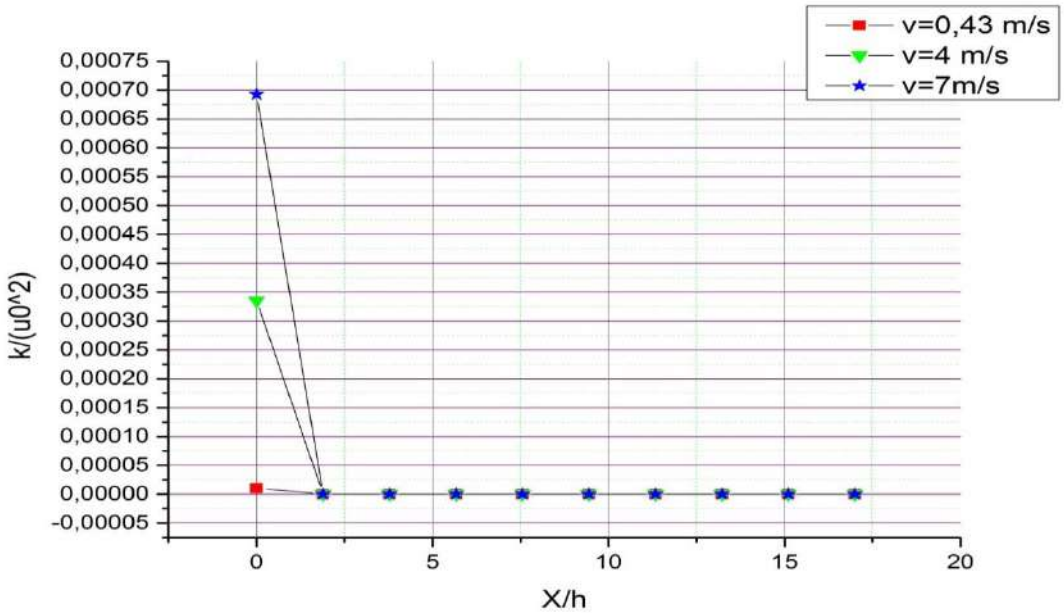


Figure V- 13: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)

- **<u>Discussion des figures avec vitesse uniforme :</u>**

Enfin, on peut constater que la pression et la vitesse dans le canal varient inversement proportionnellement à la vitesse d'entrée de l'air.

- **Effet de l'intensité de la vitesse (avec Profil de Poiseuille) :**

On propose dans cette section que la vitesse d'entrée suit un profil de type Poiseuille suivant :

$$Vitesse = (2/10)*Vmax*(y/h)*(1-(y/(20*h))) \quad (V.1)$$

- **Contour de pression P :**

Pour v=0.43 m/s : **Pour v=4m/s :** **Pour v= 7m/s :**

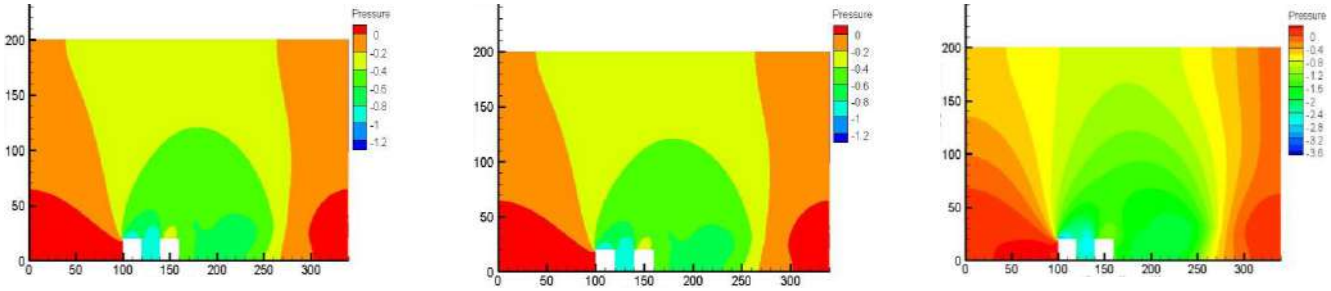


Figure V.14. Les contours des pressions V= (0.43, 4,7) m/s

La figure (V.14) présente des contours de pression montrant une augmentation de pression près de la paroi frontale du premier obstacle et au-dessus des obstacles.

- **Contour de turbulent K :**

Pour v=0.43 m/s : **Pour v=4 m/s :** **Pour v= 7 m/s :**

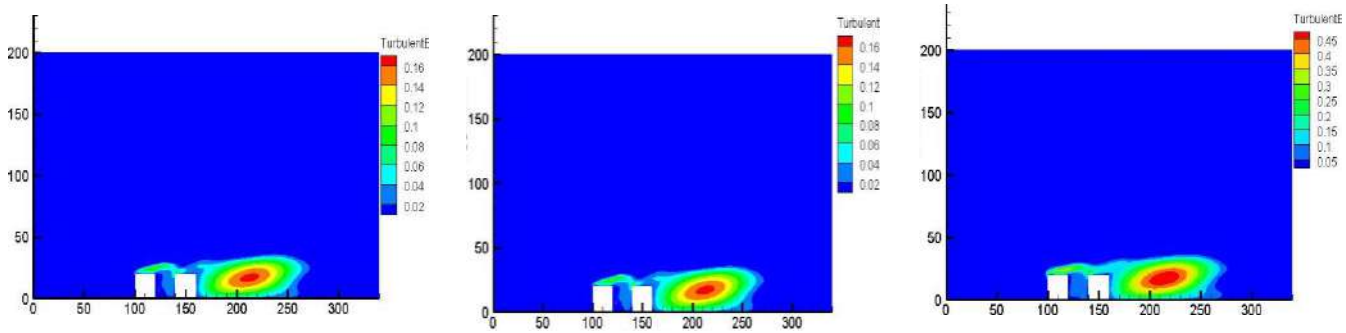


Figure V.15. Les contours des turbulent K, V= (0.43, 4,7) m/s

Le turbulent K, figure (v.15) et même pour les graphes sont doivent être faible devant le 1er et le 2eme obstacle et monte progressivement après le deuxième obstacle, puis tomber tout en se déplaçant loin des obstacles.

- **Stream line :**

pour V=0.43 **pour v=4 m/s :** **pour v=7 m/s :**

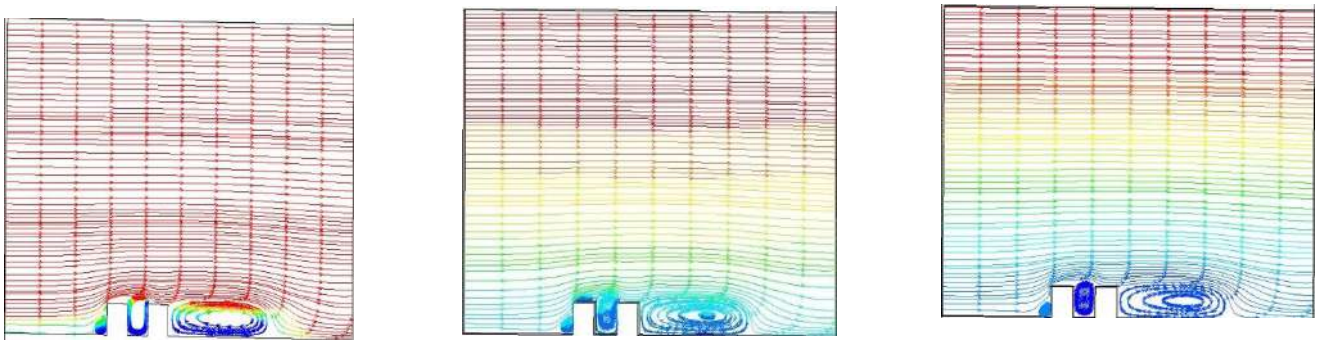


Figure V.16. Les Stream line V= (0.43, 4, 7) m/s

Entre les deux obstacles (cavité) on observe une zone de dépression et de recirculation plus intense lorsqu'on augmente la vitesse d'entrée. Une seconde zone de recirculation plus importante apparait derrière le 2eme obstacle. Ces constatations sont confirmées par la figure des lignes de courant de vitesses (V.16).

Les graphes :

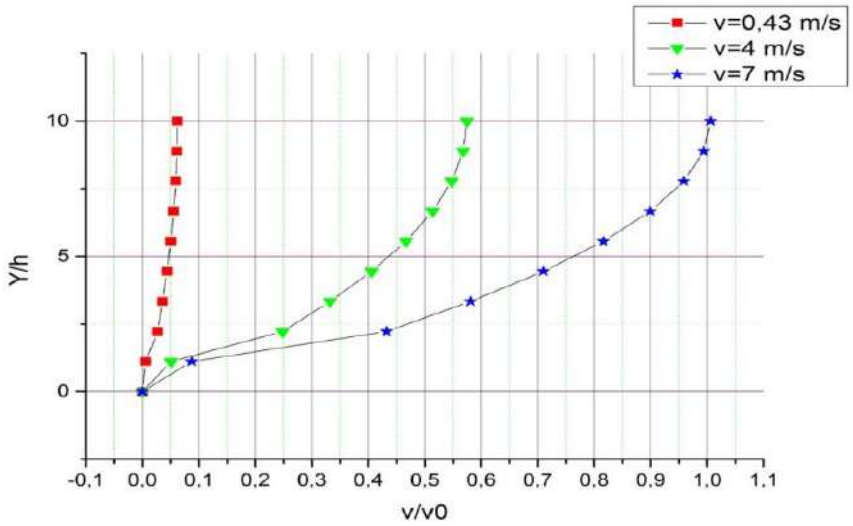


Figure V- 17: profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (y)

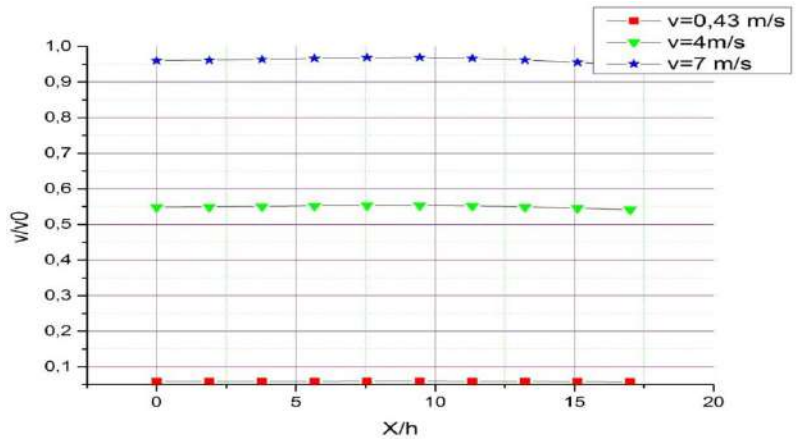


Figure V- 18: profils de vitesses pour trois valeurs d'entrée par rapport à (x)

- **<u>Les graphes de pression :</u>**

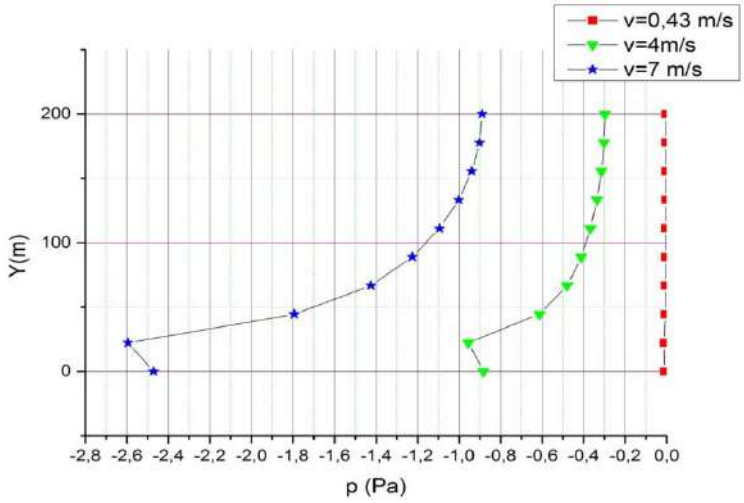


Figure V- 19: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)

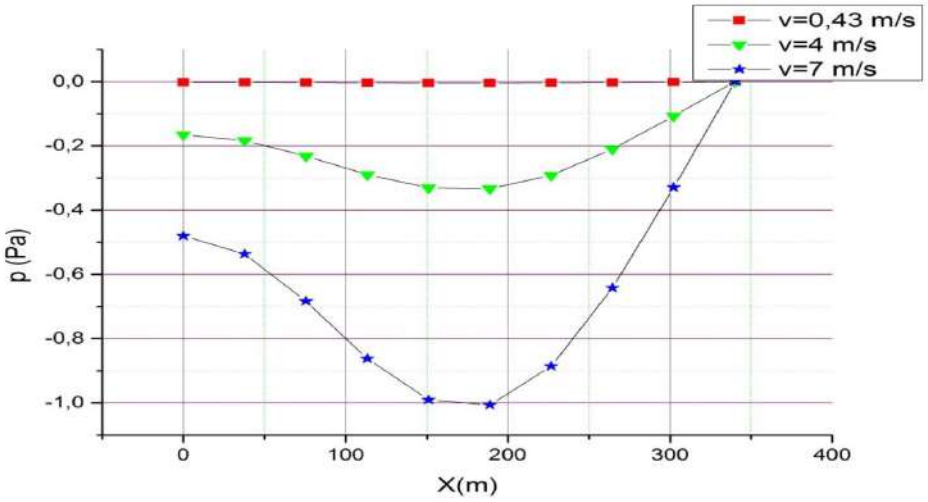


Figure V- 20: profils des pressions pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)

- **Les graphes de la turbulent K :**

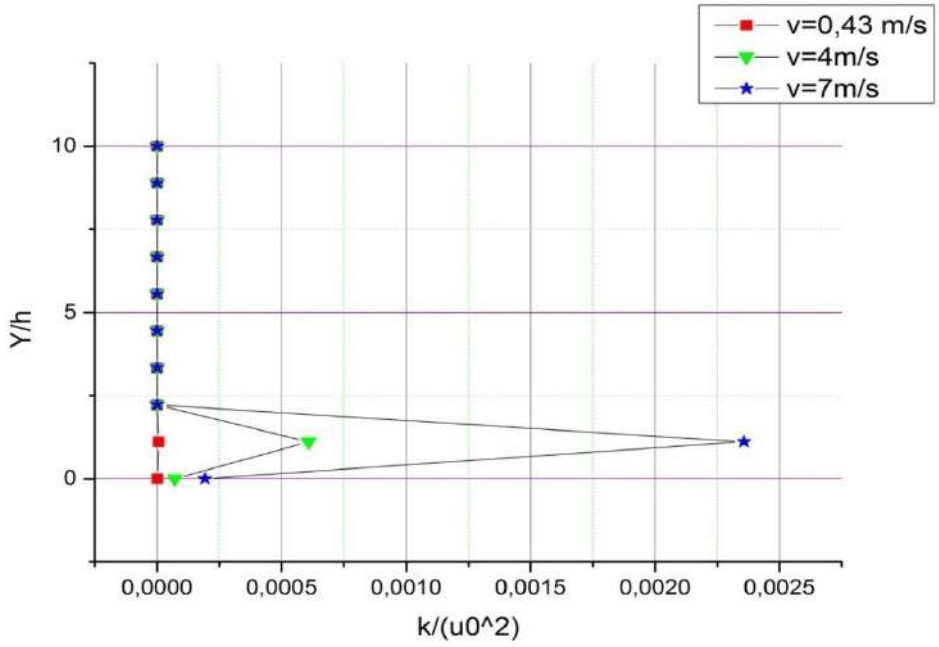


Figure V- 21: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (y)

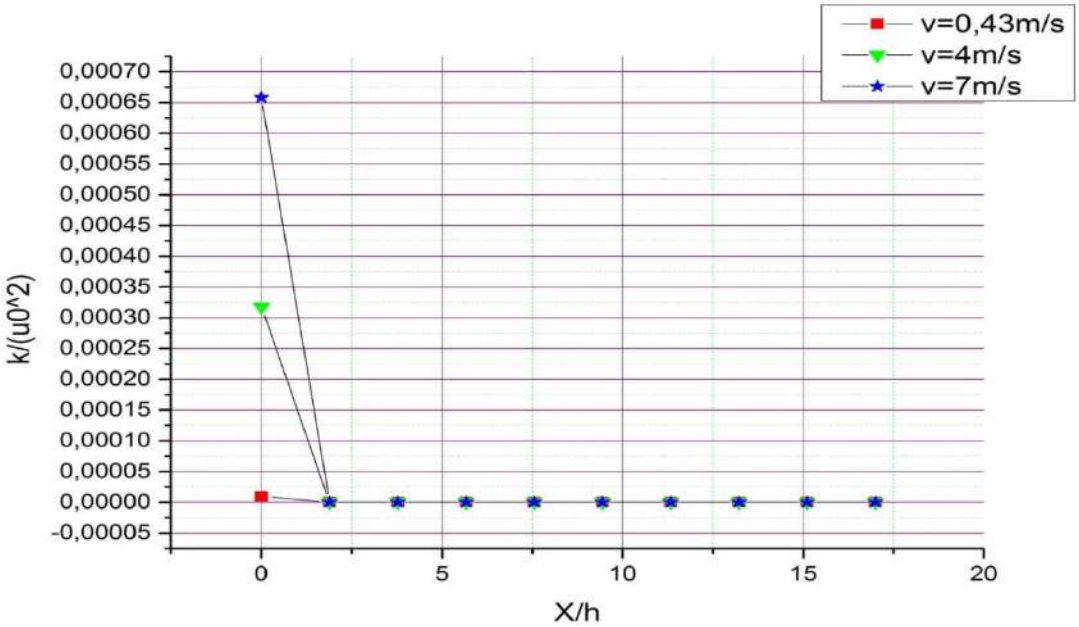


Figure V- 22: profils des turbulents K pour trois valeurs de vitesse d'entrée par rapport à (x)

- **Discussions des figures avec vitesse à profil de Poiseuille :**

Les mêmes remarques mentionnées dans le cas de la vitesse d'entrée à profil uniforme restent valables ici sauf qu'on peut noter que la forme du graphe de vitesse suit la forme parabolique du profil de Poiseuille dans ce cas.

<u>Partie B :</u> Etude de l'écoulement dans un canal avec deux obstacles possédant un polluant CO :

- **Définition de CO :**

Le Monoxyde de carbone (CO) est un gaz inodore, incolore et inflammable, se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants).Il a une densité de 0.97 et forme avec l'air un mélange explosif et très toxique. **[20]**

B-1. Condition aux limites :

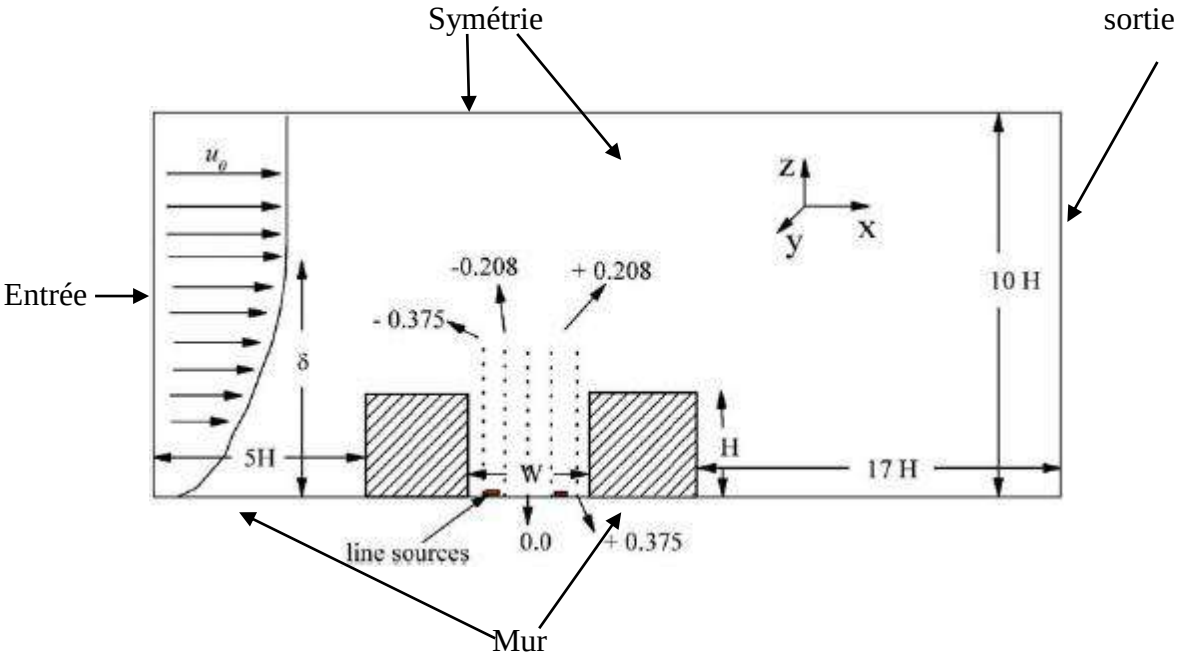


Figure V.23.Géométrie en 2D avec un polluant et les conditions aux limites

On suppose dans ce cas un flux de gaz polluant comme le CO traversant deux orifices situés entre les deux blocs avec une vitesse V_{CO} . (Figure (V.23))

B-2. Etude paramétrique :

- **Effet de l'intensité de la vitesse :**

Contours pour Vair=cste=3 m/s et Vco=Variable:

1. **Contour de vitesse :**

- Pour Vco=0.43 m/s

1. Vair : **2. Vco :**

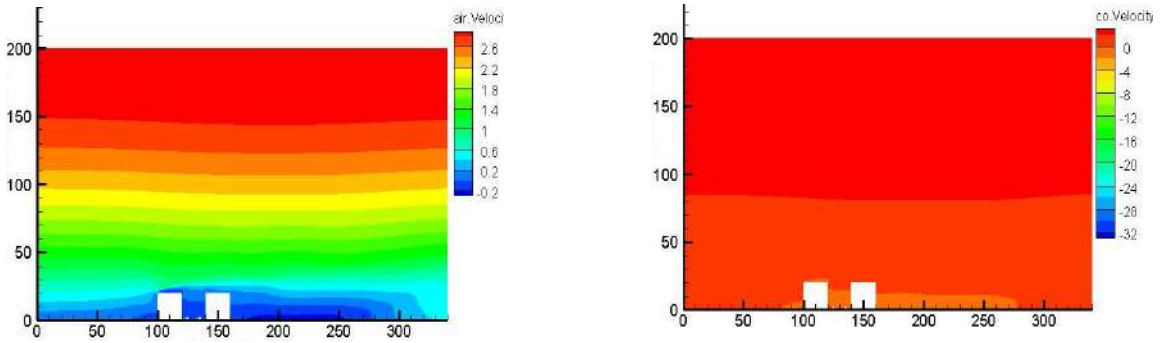


Figure V.24. Contours vitesse de l'air et CO (Vair=3 m/s et Vco= 0.43 m/s)

- Pour Vco=1 m/s :

1.Vair : **2.Vco :**

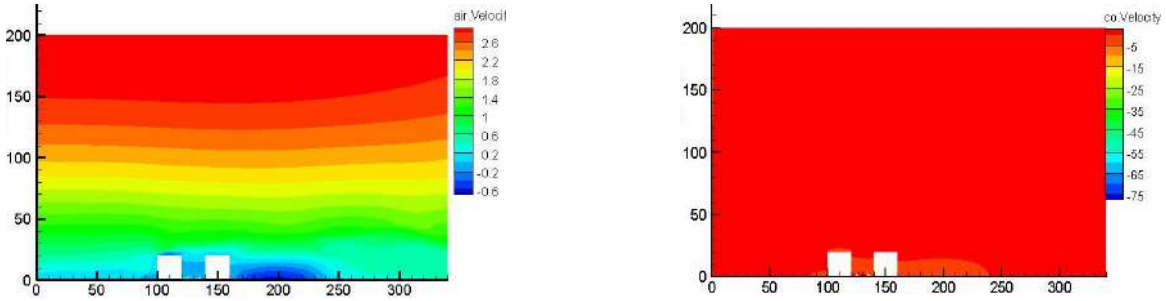


Figure V.25. Contours vitesses de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=1 m/s)

- Pour Vco=2m/s :

1. Vair : **2- Vco :**

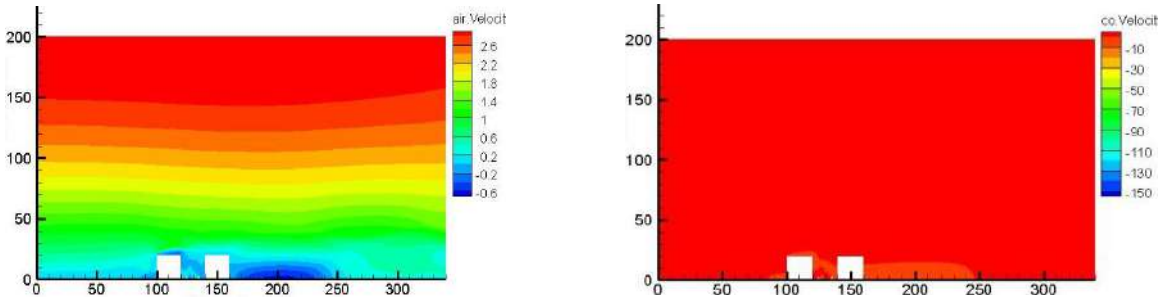


Figure V.26. Contours vitesses de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=2 m/s)

b-Contour de fraction volumique :

- Pour Vco=0.43 m/s :

L'air : **CO :**

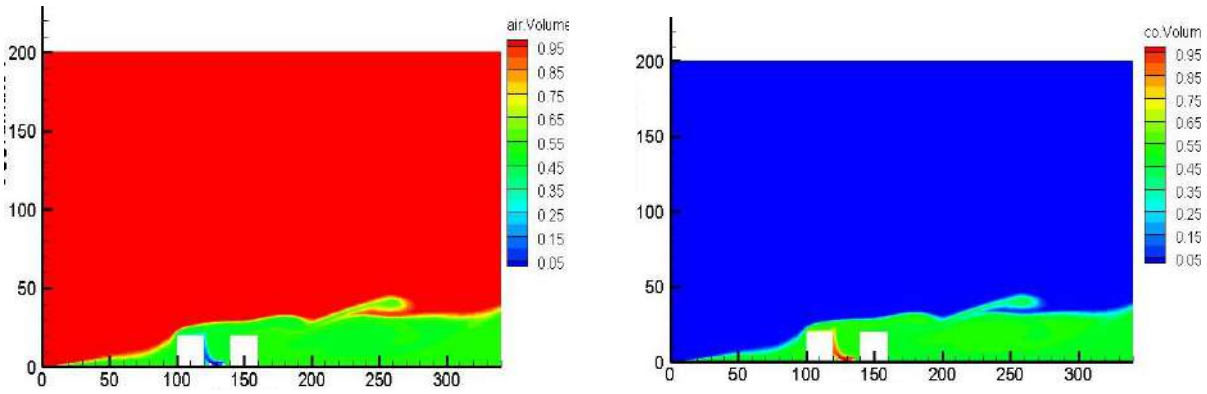


Figure V.27. Contours de volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=0.43 m/s)

- Pour Vco=1m/s :

L'air : **CO :**

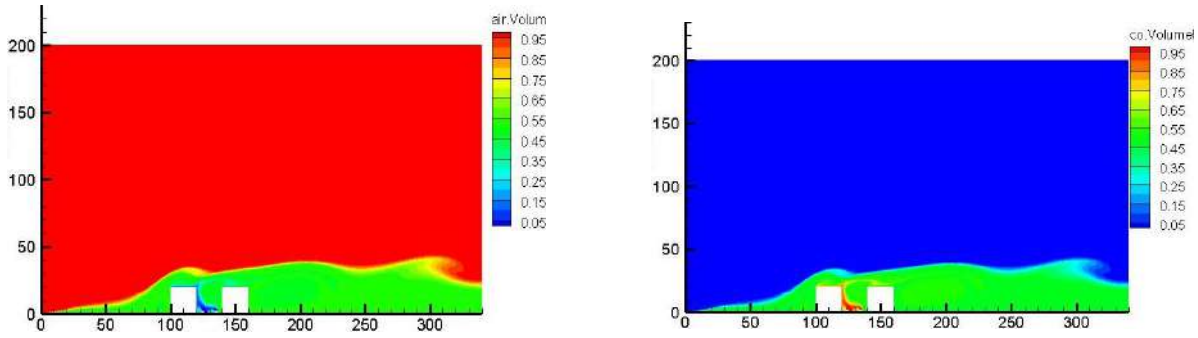


Figure V. 28. Contours de volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=1 m/s)

-Pour Vco=2m/s:

L'air : **CO :**

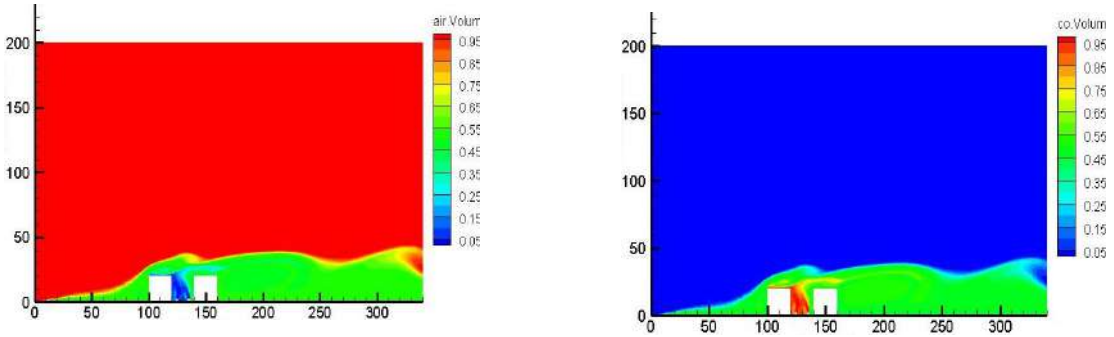


Figure V.29. Contours volume fraction de l'air et de CO (Vair=3 m/s et Vco=2 m/s)

2. Contour de turbulent K pour CO :

Vco=0.43 m/s : Vco=1 m/s : Vco=2 m/s :

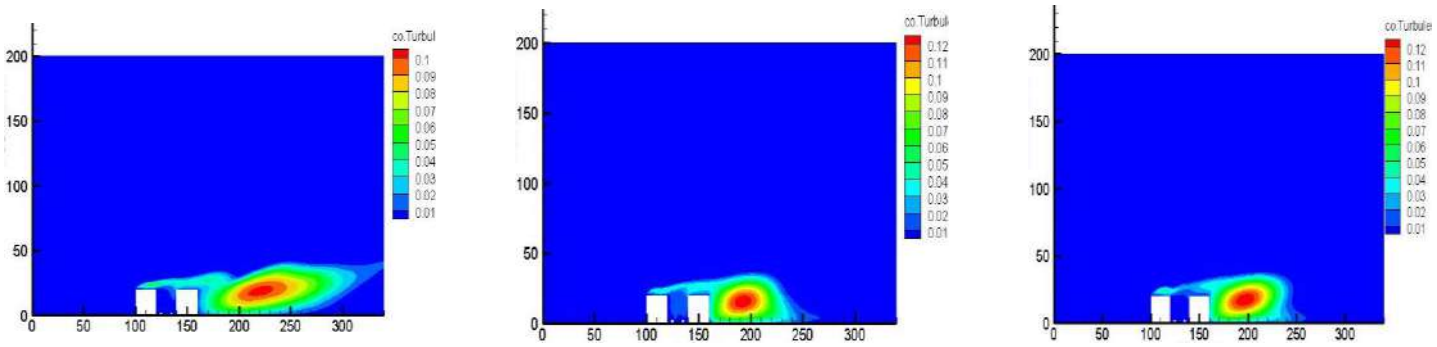


Figure V.30. Contours de turbulent K de CO (Vair=3 m/s)

3. Stream line :

1. Vco=0.43 m/s: 2. Vco=1m/s: 3.Vco=2 m/s:

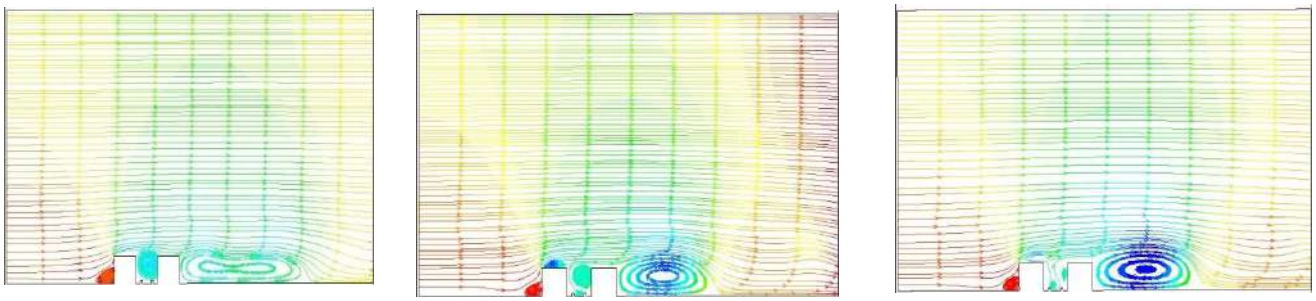


Figure V.31. Stream line de CO pour Vair= 3 m/s et (Vco=0.43, 1, 2 m/s)

- **Contours pour Vco=cste=2 m/s et Vair=Variable :**

a. Contour de vitesse :

- Pour Vair=0.43 m/s

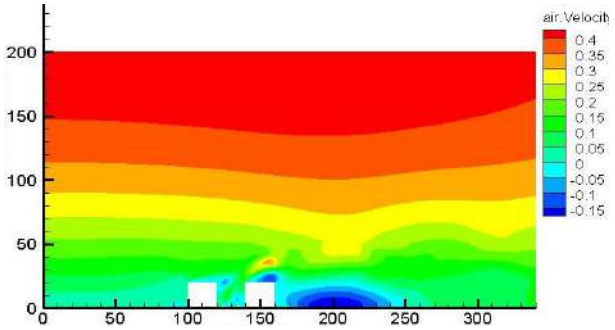


Figure V.32. Contours vitesse de l'air (Vco=2 m/s et Vair= 0.43 m/s)

- Pour Vair=2 m/s :

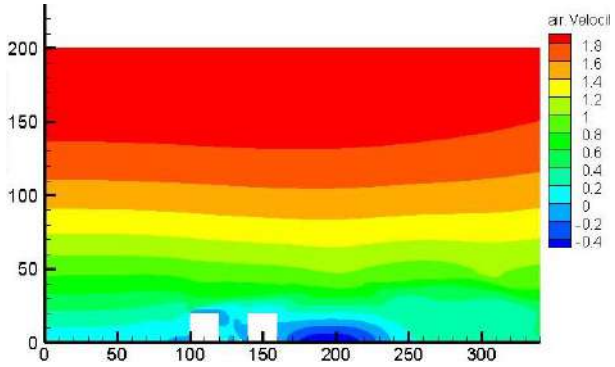


Figure V.33. Contours vitesse de l'air et de CO (Vco=2 m/s et Vair= 2m/s)

- Pour Vair=7m/s :

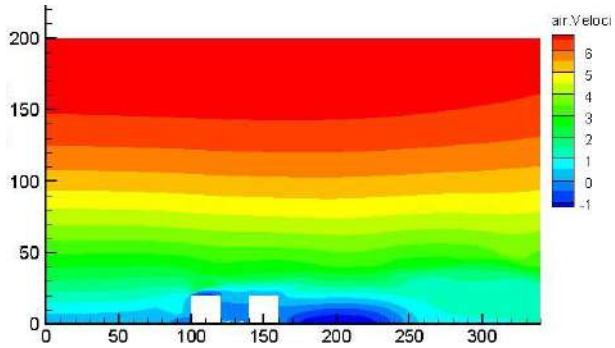


Figure V.34. Contours vitesse de l'air et de CO (Vco=2 m/s et Vair= 7 m/s)

b. Contour de volume fraction :

- Pour Vair=0.43 m/s :

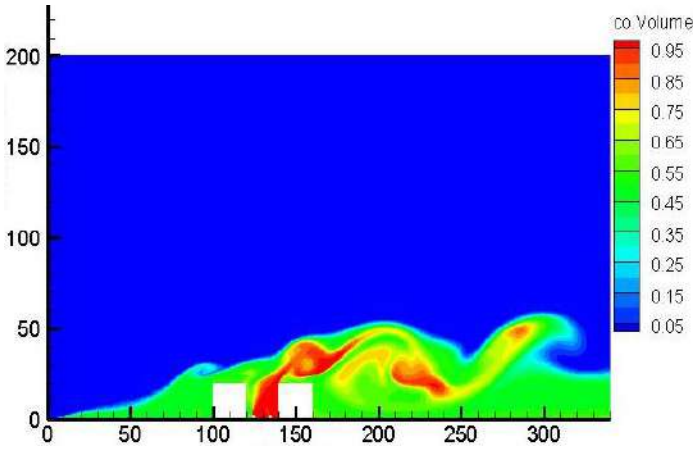


Figure V.35. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=0.43 m/s)

- Pour Vair =2m/s :

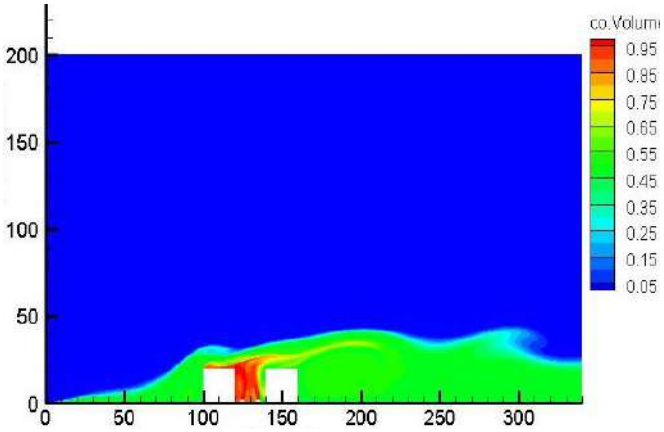


Figure V.36. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=2 m/s)

- **Pour Vair=7m/s :**

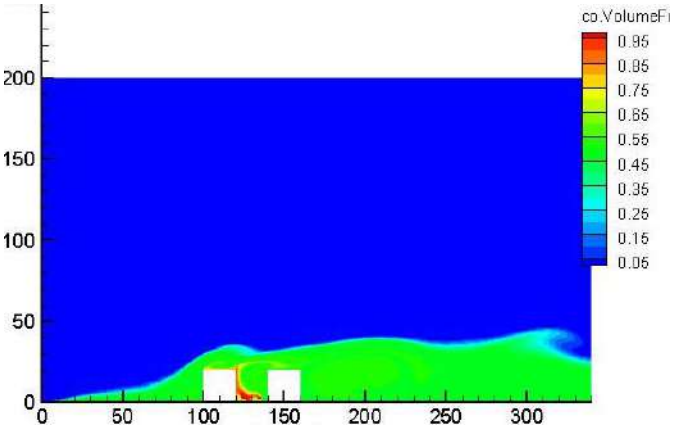


Figure V.37. Contours de volume fraction de CO (Vco= 2 m/s et Vair=7 m/s)

c. Contour de turbulent K pour CO :

Vair=0.43 m/s: Vair =2 m/s : Vair =7 m/s :

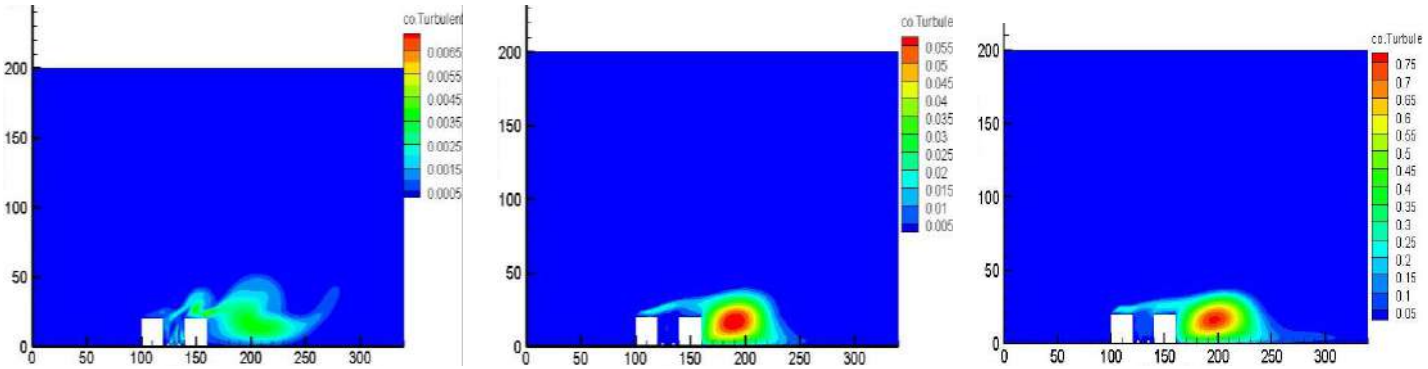


Figure V.38. Contours de turbulent K de CO (Vco= 2m/s)

d. Stream line :

1. Vair=0.43 m/s: 2. Vair=2m/s: Vair=7 m/s:

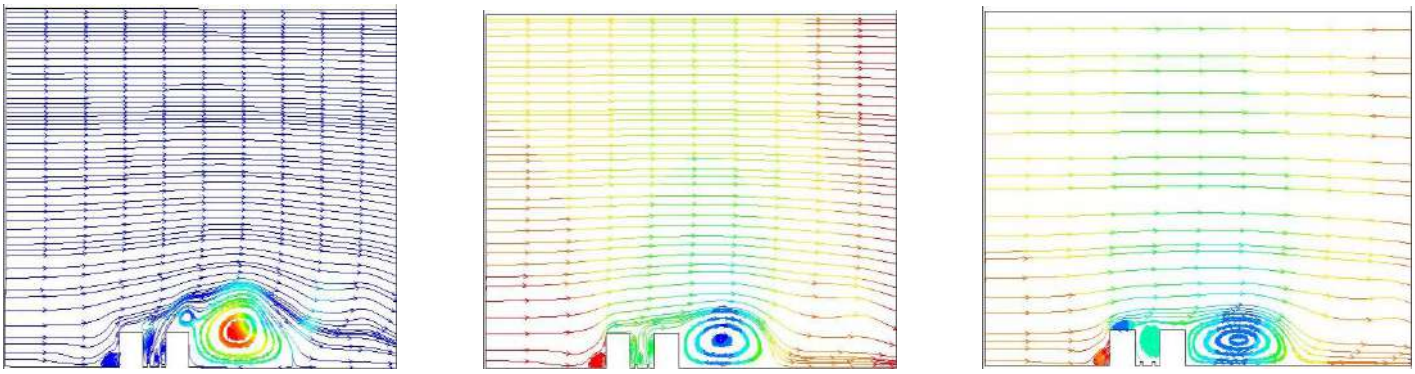


Figure V.39. Stream line de CO pour Vco= 2 m/s ET (Vair=0.43, 2, 7 m/s)

2- Les graphes :

- **Les graphes de vitesse :**

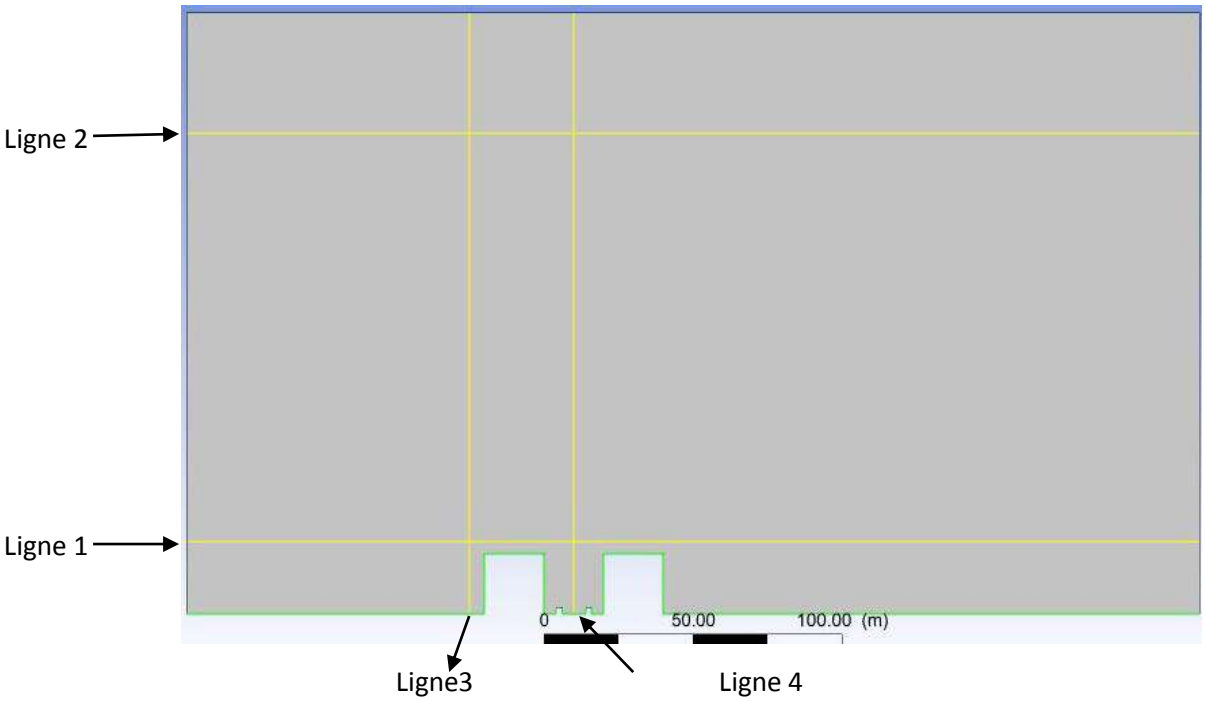


Tableau V- 2: Les coordonnées des stations de mesure (lignes)

	X	Y
Ligne 1	0	25
	340	25
Ligne 2	0	160
	340	160
Ligne 3	95	0
	95	200
Ligne 4	130	0
	130	200

1-Vair=3m/s = cste et Vco=variable :

Ligne 1 :

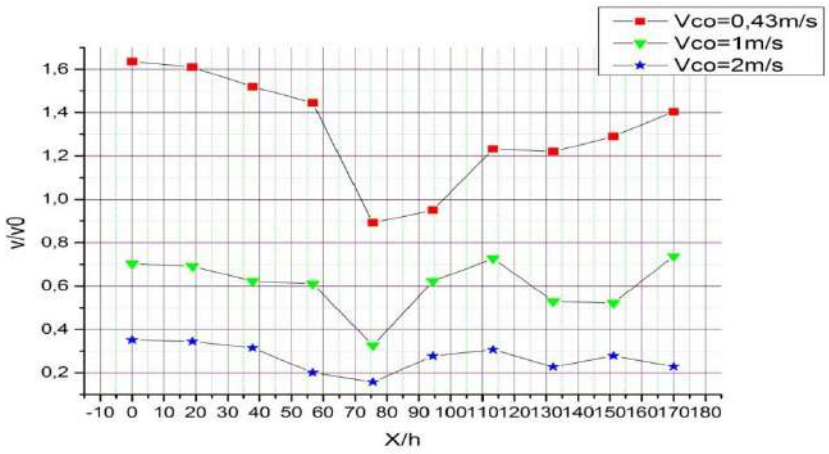


Figure V.40 : graphe Vco=f(x)

Ligne 2 :

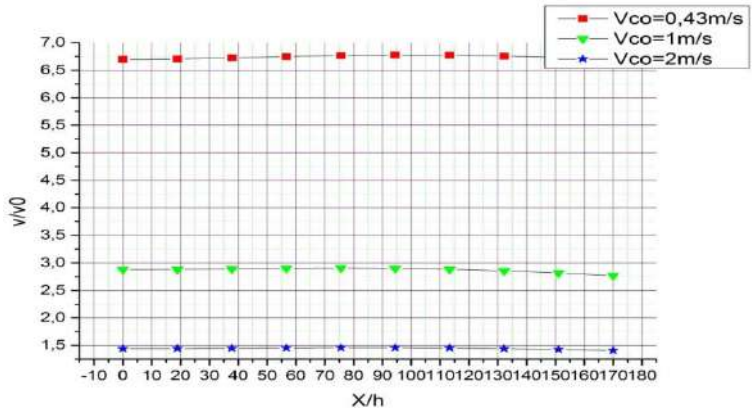


Figure V.41. Le graphe Vco=f(x)

Ligne 3 :

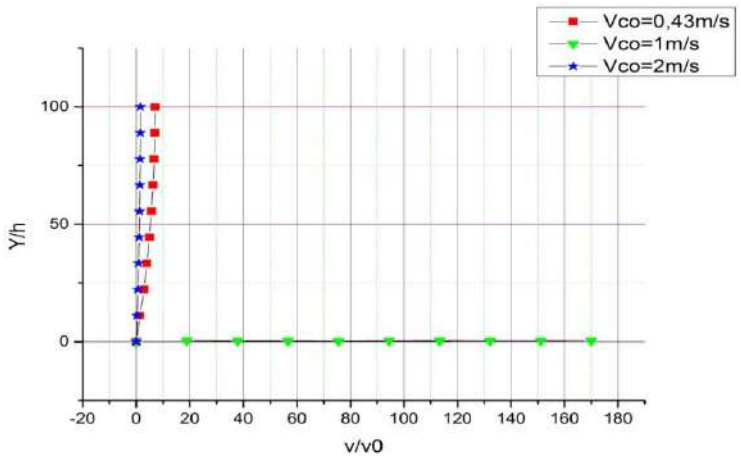


Figure V.42. Le graphe Vco=f(y)

Ligne 4 :

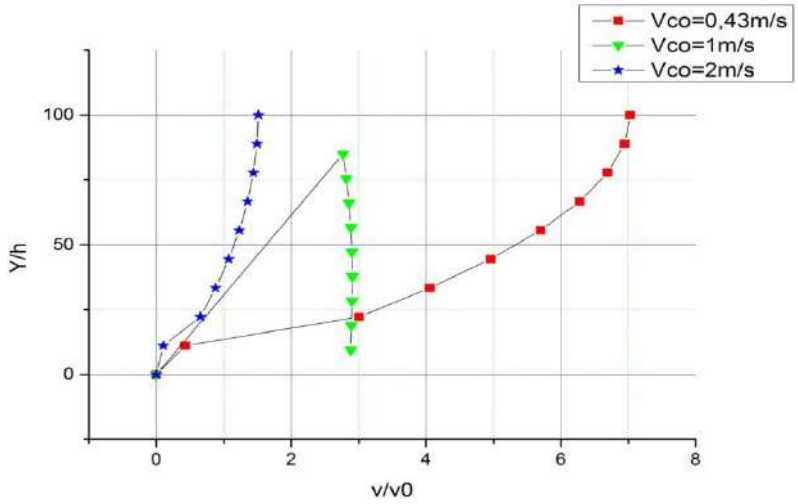


Figure V.43. Le graphe Vco=f(y)

- **Les graphes de volume fraction :**

1-Vair=3m/s = cste et Vco=variable :

Ligne 1 :

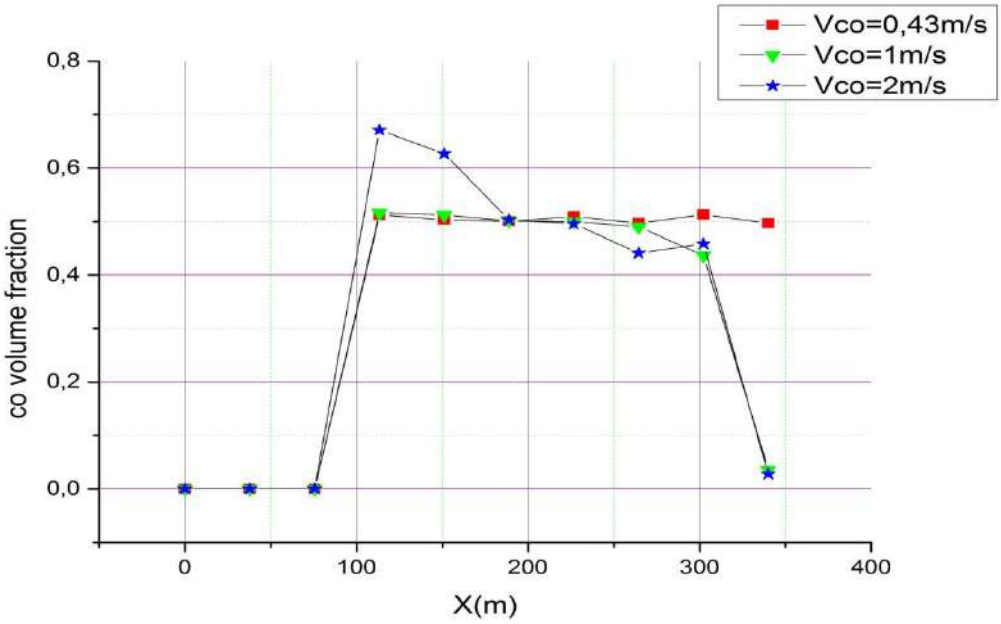


Figure V.44. Le graphe de Volume fraction=f(x)

Ligne 2 :

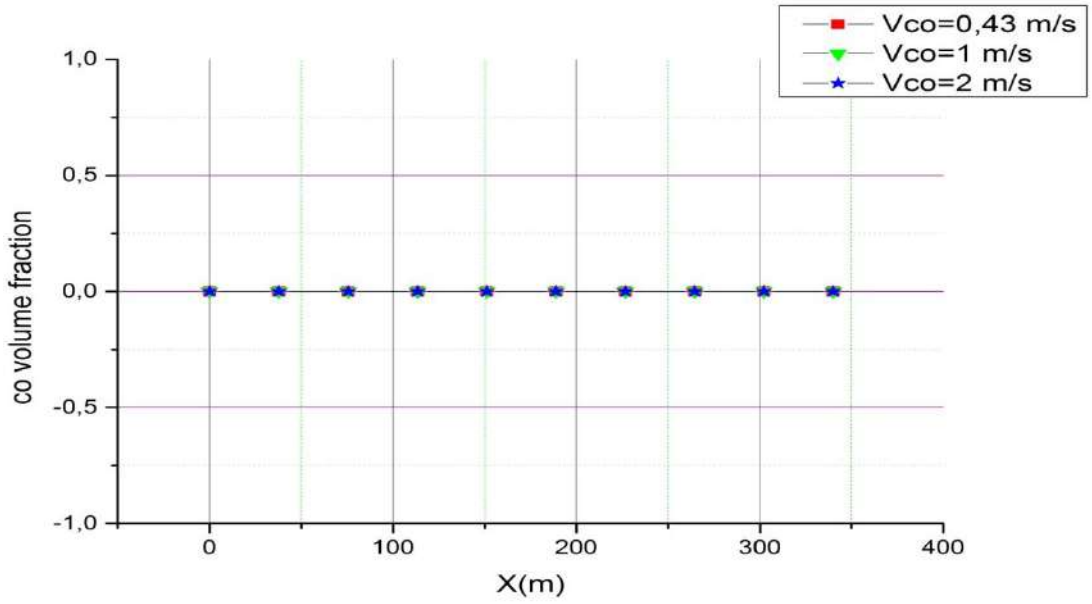


Figure V.45. Le graphe de Volume fraction=f(x)

Ligne 3 :

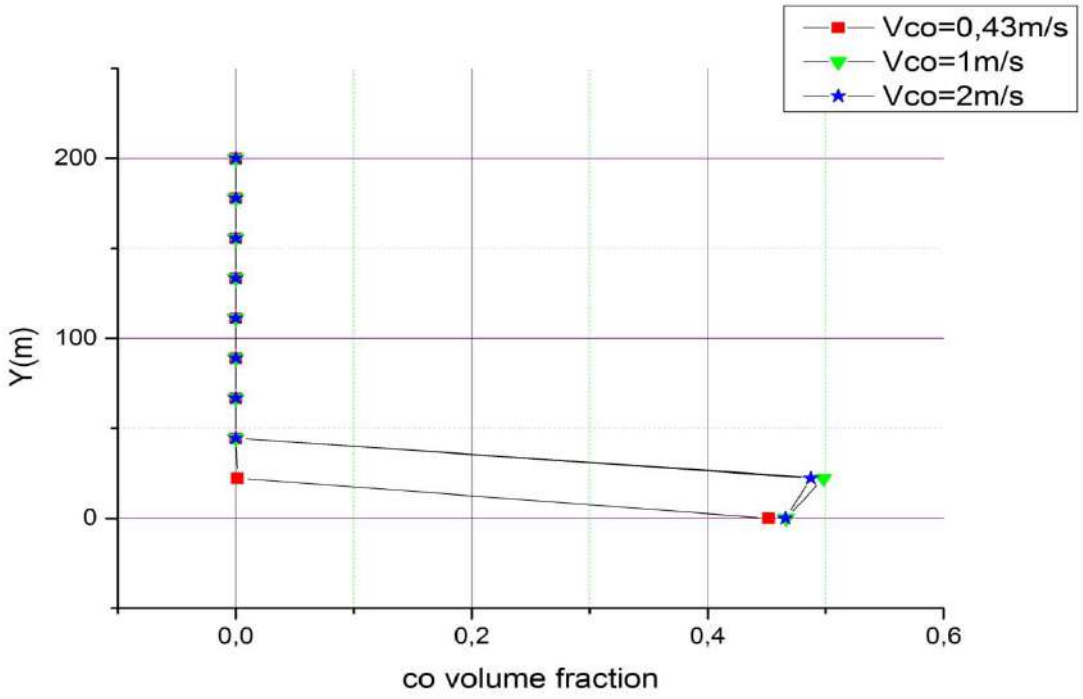


Figure V.46. Le graphe de Volume fraction=f(y)

Ligne 4 :

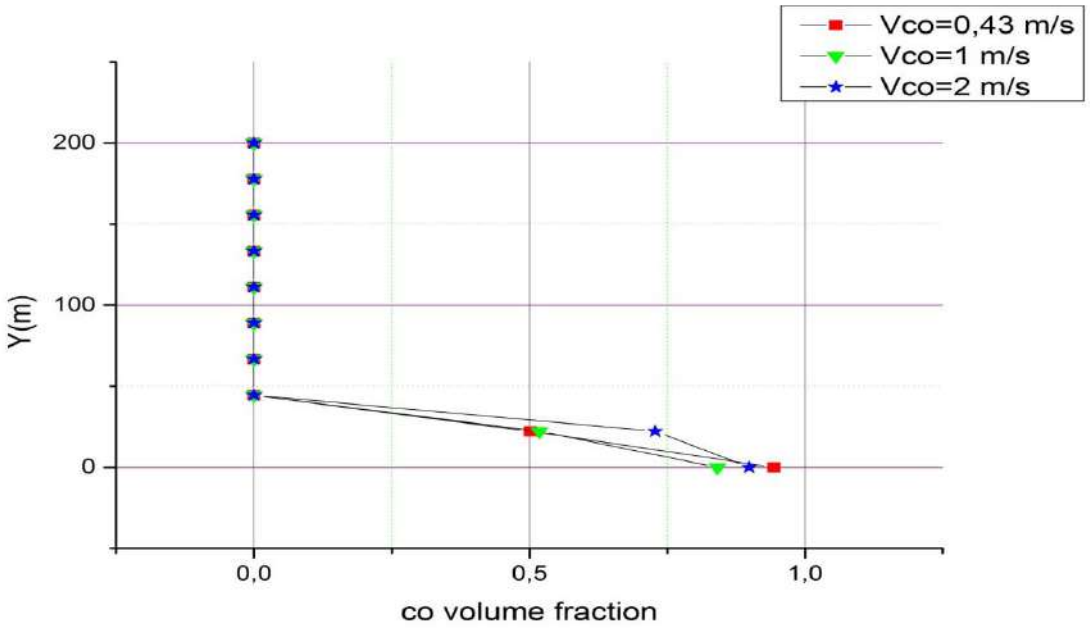


Figure V.47. Le graphe de Volume fraction=f(y)

2-Vco=2m/s = cste et Vair=variable :

Ligne 1 :

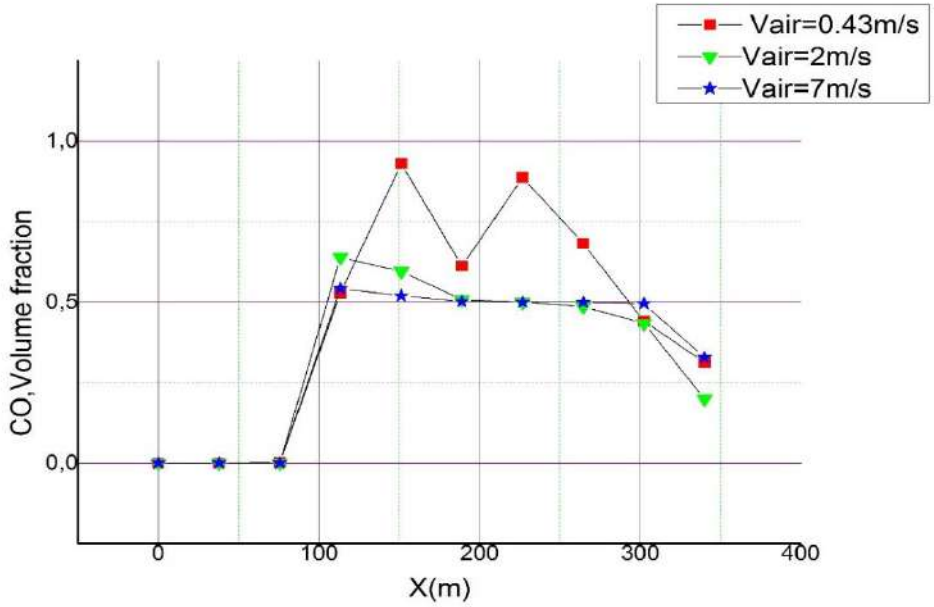


Figure V.48. Le graphe de Volume fraction=f(x) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s

Ligne 2 :

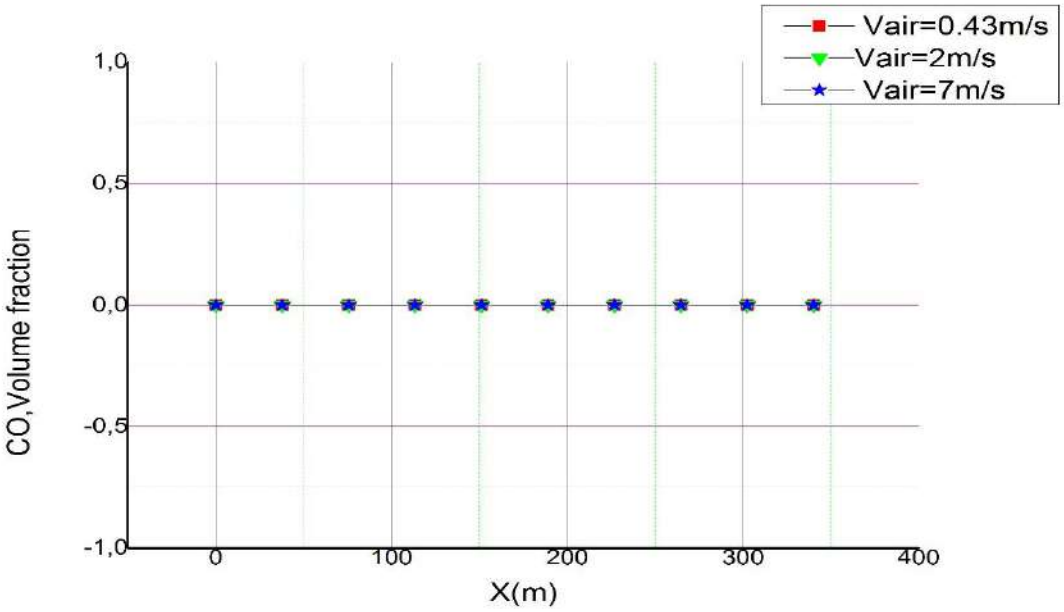


Figure V.49. Le graphe de Volume fraction=f(x)pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s

Ligne 3 :

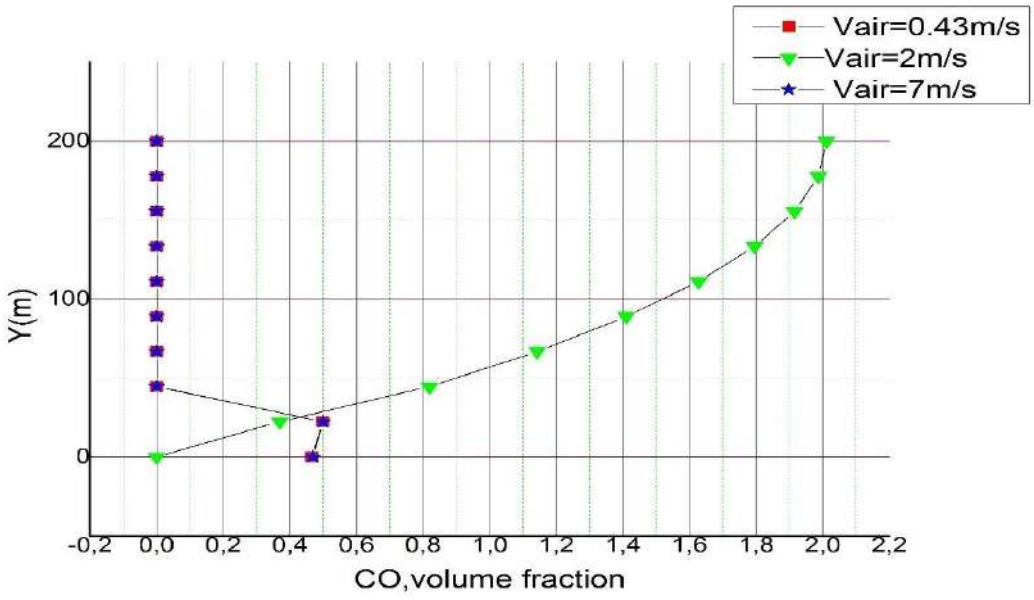


Figure V.50. Le graphe de Volume fraction=f(y) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s

Ligne 4 :

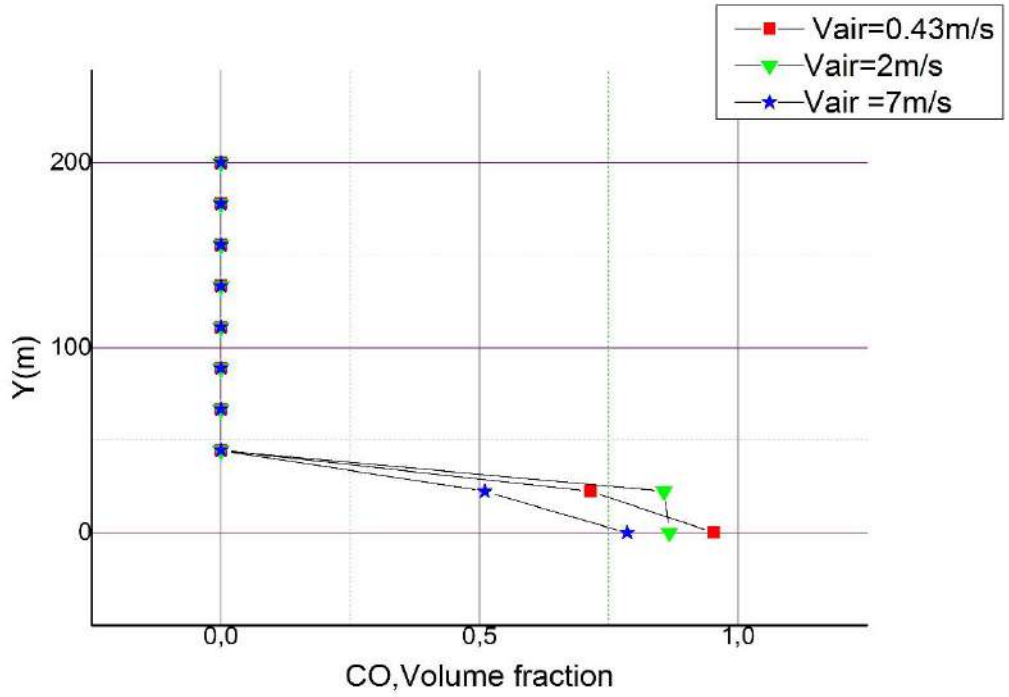


Figure V.51. Le graphe de Volume fraction=f(y) pour trois valeurs (0.43, 2,7) m/s

Discussions des figures avec vitesses (air- CO)(profil Poiseuille) :

Les figures des vitesses de l'air montrent que la vitesse avant et au milieu et après les obstacles sont élevées, et qu'elle augmente de plus en plus qu'on nous nous éloignons verticalement des obstacles. Mais pour la vitesse de CO on remarque qu'elle est très faible avant et au milieu et après les obstacles et elle diminue pour des niveaux plus haut loin des obstacles selon la valeur du débit du CO. (Figures (V.24-29) (40-43))

Les contours de la fraction volumique du CO montrent que les zones les plus exposées aux grandes concentrations de CO sont la zone entre blocs où il y'a la source et derrière le 2eme bloc pour toutes les vitesses testées même si $V_{CO} > V_{air}$. (Figures (V.35-37)(44-51)).

V.2. Zones de recirculation :

La zone de recirculation est caractérisée par un paramètre important nommé longueur de rattachement, qui s'étend à partir de la section d'élargissement au point de recollement. Ce point de rattachement correspond à l'abscisse « **Xr**» où la vitesse axiale «V » change de signe.

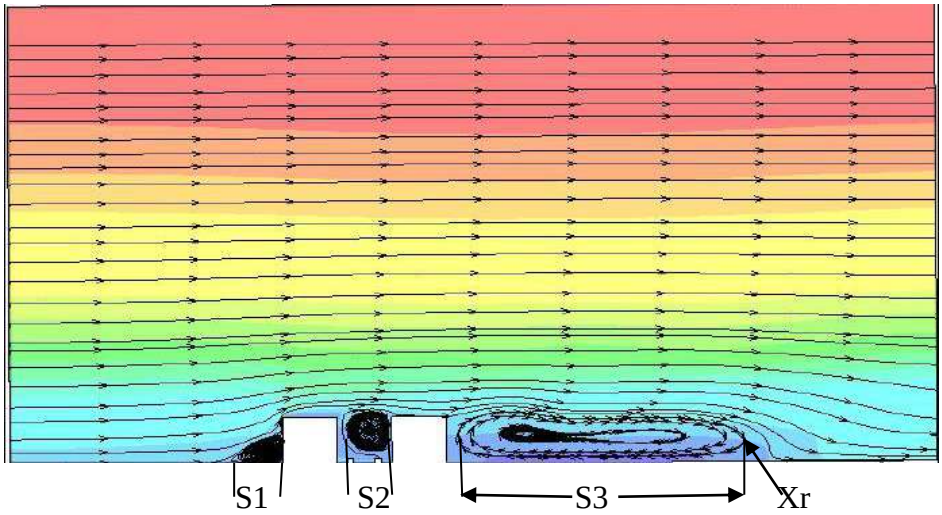


Figure V.52 : Représente la distribution de la longueur de rattachement en fonction de la vitesse.

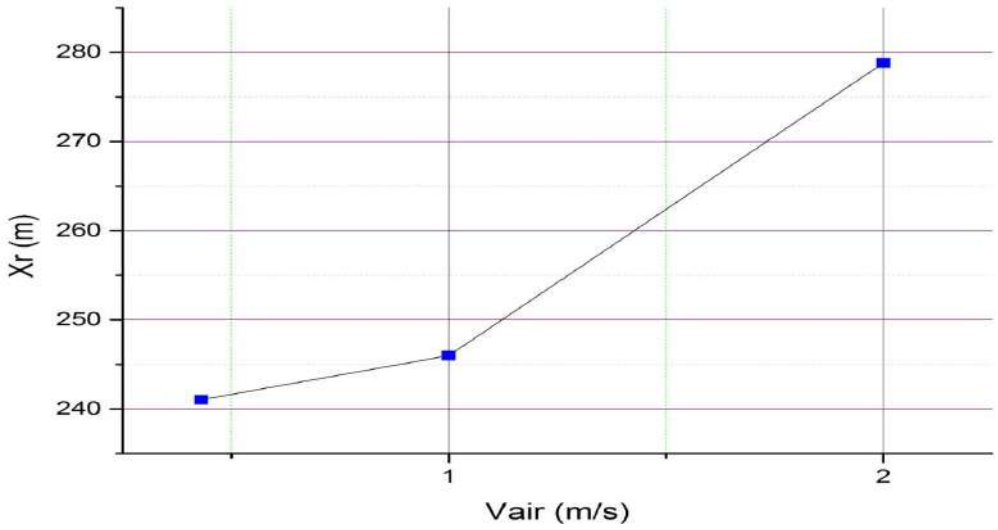
V.2.1.Tableau du rattachement :

Tableau V- 3: Valeur de la longueur de rattachement pour chaque vitesse.

	Vitesse (m/s)	Longueur S (m)	Xr avant le 1er obstacle (m)	Xrentre les2obstacles (m)	Xr après le 2eme obstacle (m)
Vair=3m/s	Vco=0.43	S1=14.59	100	140	241.05
		S2=16.71			
		S3=241.05			
	Vco=1	S1=12.176	100	140	245.976
		S2=15.717			
		S3=245.976			
	Vco=2	S1=12.176	100	140	278.826
		S2=15.717			
		S3=278.826			
Vco=2m/s	Vair=0.43	S1=13.162	98.88	128.692	241.155
		S2=5.863			
		S3=241.155			
	Vair=2	S1=14.111	100	140	246.776
		S2=8			
		S3=246.776			
	Vco=0.43	S1=13.084	100	140	248.635
		S2=16.015			
		S3=260.533			

V.2.2.les graphes :

- Graphe Vair=f(Xr) :



- Graphe Vco=f(Xr) :

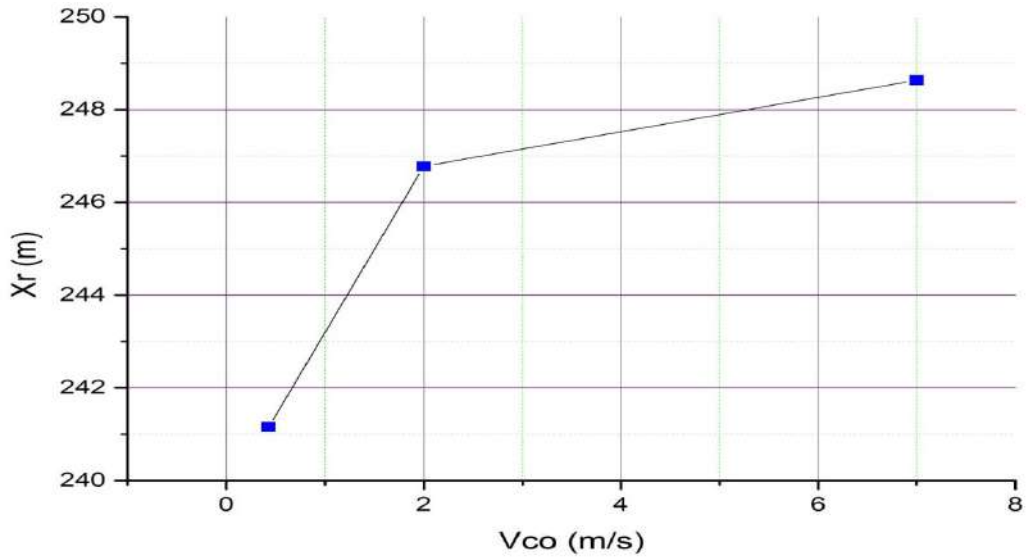


Figure V- 53: longueur de la ligne de rattachement en fonction de la vitesse de l'air et de CO

- **<u>Discussions de la figure de la zone de recirculation :</u>**

D'après les graphes de Vair=f(Xr) et Vco=f(Xr), on remarque quand la vitesse augmente le point de rattachement s'éloigne lui-même et par suite la zone de recirculation s'élargisse.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, on a étudié tout d'abord l'écoulement turbulent de l'air dans un canal muni de deux obstacles sans espèce polluante. Ensuite on a essayé d'étudier la dispersion de polluant injecté dans le canal et entre deux bocs lorsqu'un écoulement d'air passe par le canal.

En effet, on a étudié par simulation numérique (CFD) l'écoulement turbulent pour plusieurs configurations en ajoutant une source de pollution.

Pour les mêmes simulations nous avons appliqué le modèle k-Ɛ. Nous avons, au cours de ce travail, utilisé le code Ansys CFX. C'est un code CFD commercial utilisant une méthode à volumes de control finis basée sur la méthode des éléments finis, pour résoudre les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie et d'espèce qui gouvernent notre modèle physique. L'itération de chaque simulation de CFD prend une durée entre 15-22 h.

Cette étude nous a permis la détermination des zones caractéristiques, plus particulièrement au niveau du sol, où la vitesse du vent est accélérée par la présence d'obstacles environnants.

L'existence de deux obstacles situés sur le chemin d'un dégagement de gaz (CO) peut le détourner de sa route et le faire dévier de sa direction soit latéralement soit verticalement. Il peut aussi contribuer à la création de tourbillons avant, entre et après les obstacles ; ce sont les zones de recirculation.

En effet, entre les deux obstacles (cavité), on observe une zone de dépression et de recirculation plus intense lorsqu'on augmente la vitesse d'entrée. Une seconde zone de recirculation plus importante apparait derrière le 2eme obstacle.

D'autre part, les contours de la fraction volumique du CO montrent que les zones les plus exposées aux grandes concentrations de CO sont la zone entre blocs où il y'a la source et derrière le 2eme bloc pour toutes les vitesses testées même si $V_{CO} > V_{air}$.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

[1]E.J. Plate, '*Diffusion from a Ground Level Line Source into the Disturbed Boundary Layer far Downstream from a Fence*', Int. J. Heat Mass Trans., 10, pp. 181-194, 1967.

[2] J. Halitsky, '*Gas Diffusion Near Buildings*', Met. Atmo. Energy U.S.A. E.C., pp. 211-255, 1968.

[3]JONES, W.P. & Launder, B.E., The prediction of laminar ization with a twoequationmodel of turbulence... Int. J. Heat Transfer, **vol. 15**, pp.301-313, (1972).

[4]LAUNDER, B.E, & Spalding, D.B.,.The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.. 3, 269-289,(1974).

[5] G.H. Strom, '*Transport and Diffusion of Diffusion of Stack Effluents*', Air Pollut. 1, pp. 401-501, 1976.

[6]CHEN, Y.S. & KIM, S.W., .Computation of turbulence flows using anextended k-_ turbulence closure model... NASAContractor Report, **n° CR-179204**,(1987).

[7]Raithby, G. D., Stubley, G. D., and Taylor, P. A., 1987, "The Askervein Hill Project: A Finite Control Volume Prediction of Three-Dimensional Flows over the Hill", Boundary-Layer Meteorology, v. 39.

[8]Dihlmann, A., Maliska, C. R., Silva, A. F. C., 1989, "Solução Numérica da Descarga de Jatos Poluentes em Meio Estratificado", Anais do X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, ABCM, Rio de Janeiro-RJ, p. 101-104.

[9]Andrén, A., 1990, "A Meso-Scale Plume Dispersion Model. Preliminary Evaluation in a Heterogeneous Area", Atmospheric Environment, v. 24A, n. 4, p. 883-896.

[10]Dawson, D., Stock, D.E. and Lamb, B., 1991, "The Numerical Simulation of Airflow and Dispersion in Three-Dimensional Atmospheric Recirculation Zones", J. Applied Meteorology, vol. 30, pp. 1005-1024.

[11]YAKHOT, V. & SMITH, L.M ... The renormalization group, the expansionand derivation of turbulence models... J. Sci. Comput., **vol. 7**, pp.35-61, (1992).

[12]Koo, Y.S., 1993, "Pollutant Transport in Buoyancy Driven Atmospheric Flows", Ph.D. Thesis, The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical Col.

[13]Castro, I.P. and Apsley, D.D., 1997, "Flow and Dispersion Over Topography: A Comparison Between Numerical and Laboratory Data for Two-Dimensional Flows", Atmospheric Environment, vol. 31, no 6, pp. 839-850.

[14] Y.H. Madani, M.Abidat. Etude numérique de l'écoulement d'un fluide visqueux incompressible autour de corps profilés par une méthode combinée d'ordre 0(h2) et 0(h4). Séminaire international de Génie Mécanique. Sigma'02.E.N.S.E.T.Oran. 28 & 29AVRIL 2002.

[15] S.C. Luo, T. Chew, Y.T. Ng. *Characteristis of square cylinder wake transition flows,Phys. Fluids, vol. 8, 2549-2559* **,** 2003**.**

[16] R. Belakroum, M. Khadja, H. Zibouche. *Simulation numérique du phénomène d'éclatement tourbillonnaire dans la zone de sillage d'un obstacle de section circulaire,* International Conférence on Energetics and pollution constantine .2007.

[17]S. D. Sabatino, R. Buccolieri, B. Pulvirenti, and R. E. Britter, "Flowand pollutant dispersion in street canyons using FLUENT and ADMS-Urban," *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 13, no. 3, pp. 369–381, 2008.

[18] **E. Solazzo, X. Cai, and S. Vardoulakis,** "Improved parameterization for the numerical modelling of air pollution within an urban street canyon," *Environmental Modelling and Software*, vol. 24, no. 3, pp. 381–388, 2009.

[19] **M.M.Ouestati, M.Ben Salah, F.Aloui, S.Ben Nasrallah.** *Numerical simulation of flow around obstacle with stream function-vorticity formulation of Navier-Stokes equations.* 2nd International Conference on Energy Conversion and Conservation.2010.

[20] **Dictionnaire environnement** 1.001 mots et abréviations de l'environnement durable.