



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة محمد الحميد ابن باديس - مستغانم  
Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology

قسم المهندسة الميكانيكية  
Department of Mechanical Engineering



N° d'ordre : M...../GM/2020

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

## *Thème*

**COMPARAISON ENTRE RESULTAT NUMERIQUE AVEC LE MODELE  
K-E ET K-W ET LES MESURES EN UNE SOUFFLERIE.**

Présenté par :

❖ ABDI DAHER ALI

*Soutenu le 30/ 06/ 2020 devant le jury composé de :*

Président	Pr. RETIEL Nouredine	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. GUERMAT Abdelkader	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB

**Année Universitaire : 2019 / 2020**

## Remerciements

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu, le tout puissant qui m'a permis la réalisation de mon travail et je dis ALHAMDOULILLAH.

Mon encadreur, monsieur MEDJAHED BENDIDA mérite mes vifs remerciements pour le soutien de l'élaboration de mon mémoire.

Je remercie également tous les enseignants qui m'ont formé durant mon cursus universitaire.

Mes reconnaissances vont aux membres du jury qui ont accepté d'assister aux présentations de mon mémoire en ce période difficile ou la pandémie du covid-19 gangrène le monde.

Le président du jury le Pr. RETIEL Noureddine et mon examinateur le Dr. GUERMAT Abdelkader sont à remercier.

Mes collègues de classe, mes amis particuliers ainsi que ceux qui me connaissent, je vous ai reconnaissants :

A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin

Sans oublier l'Algérie, ce pays qui a contribué ma formation.

***ABDI DAHER ALI***

# Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma mère en premier qui a fait des sacrifices pour ma réussite. A mon défunt père à qui je porte toujours dans mon cœur. Mes frères, mes sœurs, à toute ma famille.

Sans oublier mes amis qui sont chers pour moi.

A toutes les personnes que j'aime.

***ABDI DAHER Ali***

## Résumé :

La connaissance du taux de renouvellement de l'air dans un bâtiment est très importante car elle permet d'une part de quantifier avec précision la convection et le stockage de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment, et d'autre part elle permet de prévoir la dispersion des polluants et leur élimination. La ventilation naturelle en général et la ventilation croisée en particulier est une méthode efficace et gratuite pour assurer le renouvellement de l'air qui optimise la convection de la chaleur et l'élimination des polluants. Une ventilation efficace de l'air nécessite la connaissance de l'interaction complexe entre le comportement dynamique et les paramètres thermiques. Pour un bâtiment isolé, l'estimation exacte de l'interaction entre la dynamique du flux de ventilation croisée. Nous avons présenté dans cette étude une comparaison entre résultat numérique avec le modèle k-e et k-w et les mesures en une soufflerie. L'analyse montre que les résultats pour l'écoulement moyen, reflètent assez bien la réalité physique. On note cependant que l'énergie cinétique de turbulence est sous-estimées par rapport aux valeurs mesurées en soufflerie.

**Mots clés:** Ventilation croisée, Bâtiment, modèle de turbulent k-e, modèle de turbulent k-w SST, dynamique, ANSYS CFX.

**Abstract :**

Knowledge of the air renewal rate in a building is very important because it allows on the one hand to quantify with precision the convection and the heat storage inside a building, and on the other hand it allows predict the dispersion of pollutants and their elimination. Natural ventilation in general and cross ventilation in particular is an effective and free method to ensure the renewal of air which optimizes the convection of heat and the elimination of pollutants. Efficient air ventilation requires knowledge of the complex interaction between dynamic behavior and thermal parameters. For an isolated building, the exact estimate of the interaction between the dynamics of the cross ventilation flow. We presented in this study a comparison between numerical result with the model k-e and k-w and the measurements in a wind tunnel. Analysis shows that the results for average flow reflect physical reality quite well. However, we note that the kinetic energy of turbulence is underestimated compared to the values measured in the wind tunnel.

**Keywords:** Cross ventilation, Building, turbulent model k-e, turbulent model k-w SST, dynamic, ANSYS CFX.

## ملخص:

تعتبر معرفة معدل تجديد الهواء في المبنى أمرًا مهمًا جدًا لأنه يسمح من ناحية بالتحديد الدقيق للحمل الحراري وتخزين الحرارة داخل المبنى ، ومن ناحية أخرى يسمح التنبؤ بتشتت الملوثات وإزالتها. تعتبر التهوية الطبيعية بشكل عام والتهوية المتقاطعة بشكل خاص طريقة فعالة ومجانية لضمان تجديد الهواء ، مما يحسن الحمل الحراري ويزيل الملوثات. تتطلب التهوية الفعالة للهواء معرفة التفاعل المعقد بين السلوك الديناميكي والمعلومات الحرارية. بالنسبة للمبنى المعزول، التقدير الدقيق للتفاعل بين ديناميكيات تدفق التهوية المتقاطعة. قدمنا في هذه الدراسة مقارنة بين النتائج العددية مع النموذج k-e و k-w والقياسات في نفق الرياح. يظهر التحليل أن نتائج متوسط التدفق تعكس الواقع المادي بشكل جيد. ومع ذلك ، نلاحظ أن الطاقة الحركية للاضطراب يتم تقديرها بأقل من قيمتها مقارنة بالقيم المقاسة في نفق الرياح.

**الكلمات الرئيسية:** تهوية متقاطعة، بناء، نموذج مضطرب (k-e)، نموذج مضطرب (k-w SST) ، ديناميكي، برنامج (ANSYS CFX)

# Sommaire

Dédicace.....	i
Remerciement .....	ii
Résume .....	iii
Abstract.....	iv
ملخص .....	v
Liste des Figures.....	vii
Nomenclature.....	ix
Chapitre 01 : Etude bibliographique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.1 Etude bibliographique : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.1 Introductions.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.2-La turbulence.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.3- Impact de la turbulence sur les équations de Navier-stokes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.3.1 Équation du modèle.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.4 Modèle de turbulence .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.4.1 Modèle standard k- $\epsilon$ .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.5.1 Modèle standard k-oméga (k- $\omega$ ).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.6 Le modèle SST (Shear Stress Transport) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.7 Différence entre modèles k- $\omega$ et SST.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1 Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2 Présentation du logiciel utilisé pour la simulation numérique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.1 ANSYS ICEM CFD .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.2 ANSYS CFD.CFX .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Chapitre 04 : Résultats et discussion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.1 Domaine de calcul : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.2 Conditions aux limites.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3 Grilles de simulation .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4 Résultats et discussion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Conclusion générale .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Référence bibliographique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Liste des Figures

Figure 3.1 : La géométrie par logiciel ICEM CFD	13
Figure 3.2 : Le domaine de calcul avec la géométrie de bâtiment.	13
Figure 3.3 : La géométrie de notre bâtiment.	14
Figure 3.4 : Maillage du domaine de calcul.	14
Figure 3.5 : Interface de logiciel ANSYS CFX.	15
Figure 3.6 : Définition de domaine de calcul.	16
Figure 3.7 : Définition les conditions aux limites à l'entrée.	17
Figure 3.8 : Définition les conditions aux limites à la sortie.	17
Figure 3.9 : Définition les conditions aux limites les surface ouvert comme les deux symétries et le toit de domaine.	18
Figure 3.10: Définition les conditions aux limites les surface de bâtiment et la base de domaine.	19
Figure 3.11: Définition le nombre d'itération et progression des convergences.	19
Figure 3.12: Contour de vitesse par logiciel ANSYS CFX (Post-pro).	20
Figure 4.1 : Domaine de calcul et géométrie du bâtiment. Dimension en m [6].	22
Figure 4.2 : Maillage du domaine de calcul.	23
Figure 4.3 : Comparaison du contour de vitesse des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01) $z=0.0375$ m, 02) $z=0$ m et 03) $z=-0.0375$ m.	24
Figure 4.4 : Comparaison du contour des vecteur vitesses des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01) $z=0.0375$ m, 02) $z=0$ m et 03) $z=-0.0375$ m.	25
Figure 4.5: Comparaison du contour de l'énergie cinétique turbulent des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01) $z=0.0375$ m, 02) $z=0$ m et 03) $z=-0.0375$ m.	26
Figure 4.6 : Comparaison du contour de vitesse des plans horizontaux entre les	27



## Liste des figures

modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, (Plan : 04)  $y=0.02$  m, 05)  $y=0.04$  m et 06)  $y=-0.06$  m).

Figure 4.7 : Comparaison du contour de l'énergie cinétique turbulent des plans horizontaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 04)  $y=0.02$  m, 05)  $y=0.04$  m et 06)  $y=-0.06$  m. 28

Figure 4.8: Comparaison des profils de vitesse entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans sept lignes avec les résultats expérimentaux ; (01)  $x/l= 0.0125$  m, (02)  $x/l=0.025$  m, (03)  $x/l=0.0375$  m, (04)  $x/l=-0.05$  m, (05)  $x/l=0.0625$  m, (06)  $x/l=0.075$  et (7)  $x/l= 0.0875$ . 30

Figure 4.9: Comparaison des profils de l'énergie cinétique turbulent (TKE) entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans sept lignes avec les résultats expérimentaux ; (01)  $x/l= 0.0125$  m, (02)  $x/l=0.025$  m, (03)  $x/l=0.0375$  m, (04)  $x/l=-0.05$  m, (05)  $x/l=0.0625$  m, (06)  $x/l=0.075$  et (7)  $x/l= 0.0875$ . 32

## Nomenclature:

# Nomenclature:

$\alpha$  : Le coefficient de diffusion.

$\alpha$  : Le coefficient de décentrement compris entre 0 et 1.

$\alpha_e, \alpha_w, \alpha_t$  et  $\alpha_b$  : centres des facettes.

$\eta_0$  et  $\beta_0$  : Constantes.

$\rho_r$  : La masse volumique de l'air sec à l'état de référence ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\nu$  : La viscosité cinématique de l'air sec ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_p$  : La capacité calorifique massique à pression constante de l'air sec ( $\text{j/k}^*\text{kg}$ ).

$\lambda$  : La conductivité thermique de l'air sec ( $\text{w/m}^*\text{k}$ ).

$\lambda_t$  : La conductivité thermique turbulente ( $\text{w/m}^*\text{k}$ ).

$\bar{\theta}$  : La température potentielle moyenne(k).

$\theta$  : La température potentiel(k).

$\sigma_k$  : La constante de modélisation du terme de diffusion de l'énergie cinétique de turbulence.

$\sigma_\varepsilon$  : La constante de la modélisation du terme de diffusion du taux de dissipation de l'énergie cinétique de turbulence.

$\varepsilon$  : Le taux de dissipation de l'énergie cinétique de turbulence.

$\nu_t$  : La viscosité turbulente ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

$\Omega$  : Le volume d'intégration.

$\overline{\Omega_{ij}}$  : Le tenseur de verticité.

$\Omega_j$  : Volume de contrôle élémentaire.

$\Gamma_j$  : Normale extérieure unitaire  $\vec{n}_j$ .

$\Gamma$  et  $\vec{n}$  : respectivement le contour et la normale extérieure unitaire du volume d'intégration

$\varphi$  : Représente la valeur moyenne de cette grandeur sur la maille.

## Nomenclature:

$\beta$  : Coefficient de compressibilité.

$\bar{\rho}_{ri}$  : La masse volumique par interpolation linéaire ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\nu_s$  : Viscosité sous – maille.

$C_p$  : La capacité calorifique massique à pression constante de l'air sec ( $\text{J k}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ).

$C_S$  : Le coefficient de Smagorinsky.

$C_{1k}$  et  $C_{1\varepsilon}$  : Constante.

$C_{\varepsilon 1}$  et  $C_{\varepsilon 2}$  : les constantes de modélisation du terme de production-destruction du taux de dissipation de l'énergie cinétique de turbulence.

$C_\mu$  : Une constante empirique  $C_\mu = 0.09$ .

$d$  : La distance(m).

$D_i$  : Le coefficient de diffusion moléculaire massique.

$F_m$  et  $F_h$  : Les fonctions qui dépendent de la stabilité de l'atmosphère.

$g_i$  : L'ième composante cartésienne de l'accélération de la pesanteur.

$h_{dp}$  : La hauteur de déplacement de la surface (m).

$H_S$  : Flux de chaleur à la paroi (w).

$i$  : Indice.

$K$ : la constante de **Von Karman**,  $K = 0,40$ .

$k$  : L'énergie cinétique de turbulence ( $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ).

$l_s$  : L'échelle de longueur de **Smagorinsky**.

$\vec{n}$  : La normale unitaire extérieure de la surface.

$P_{rt}$  : Le nombre de **Prandtl** de la turbulence.

$p_s$  : La pression de référence prise à 1000 mb.

$Re$ : Le nombre de Reynolds de l'écoulement.

$R_i$  : Terme source ou puits par réaction chimique avec N autres constituants.

$R^*$  : La constante des gaz parfaits pour l'air sec ( $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

$S_i$  : Terme source additionnel.

$t$  : Le temps(s).

$\Delta t$  : Pas de temps(s).

## Nomenclature:

$T$ : La température de parcelle d'air 55(°K).

$T_r$  : Température à l'état de référence (°K).

$T_s$  : Température à la paroi (°K).

$T_v$  : La température virtuelle(°K).

$T_1'$  : La fluctuation de température par rapport à l'état de référence(°K).

$\bar{U}$  : Le module de la vitesse moyenne tangentielle à la distance  $d$  ( $m s^{-1}$ ).

$v_i'$  : La ième composante cartésienne de la fluctuation de la vitesse autour de sa valeur moyenne.

$\overline{v_i' v_j'}$  : Les tensions de Reynold

$\bar{V}$  : La vitesse moyenne ( $m s^{-1}$ ).

$\bar{V}_i$  : La ième composante cartésienne de la vitesse moyenne ( $m s^{-1}$ ).

$x_i$  : La ième composante cartésienne(m).

$Z_{0mp}$  : La longueur de rugosité dynamique(m).

---

## ACRONYMES

## Abréviations:

RANS: Reynolds Average Navier Stokes.

TKE: Energie cinétique turbulente.

# **Chapitre 01 : Etude bibliographique**

## Chapitre 01 : Etude bibliographique

### 1.1 Etude bibliographique :

La ventilation naturelle en général et la ventilation croisée en particulier est une méthode efficace et gratuite pour assurer le renouvellement de l'air qui optimise la convection de la chaleur et l'élimination des polluants. La simulation numérique peut fournir une solution approximative pour prédire ce type de phénomène. Dans ce chapitre nous allons énumérer les différents chercheurs qui ont abordés des sujets similaires à notre thème qui est les comparaisons des modèles turbulences k-epsilon et k-oméga et les mesures en une soufflerie.

En mai 2014, CHU Chia-Ren et les autres, de l'université de Taiwan ont publiés un article sur la ventilation croisée ou transversale entraînée par le vent le long d'un bâtiment. Ils constataient que le débit de la ventilation évolue inversement proportionnelle à la longueur de ce bâtiment. Pour cela que la longueur doit être environ cinq fois inférieure à la hauteur pour une ventilation optimale [1].

Mai 2015, YOSHIHIDE Tominaga et les autres, sort un article sur leurs expériences en soufflerie sur le débit d'une ventilation transversale d'un bâtiment générique avec la dispersion des contaminants avec des conditions isolés et abrités. Ils conclurent que le débit d'air se réduit en présences des bâtiments environnants [2].

La même année, en décembre 2015, KATARINA Kosutova et les autres, ont fait une comparaison du refroidissement pour un bâtiment isole générique équipés des volets d'aérations (Louvres en anglais) avec trois angles de lamelles différents ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ) plus une autre fenêtre sans volets d'aération. Par la suite, ils ont conclu que la configuration avec un angle de lamelle de  $30^\circ$  et la configuration sans volets avaient les meilleures performances en ce qui concerne le refroidissement ventilatoire. Ces configurations avaient les efficacités d'échange d'air (plus de 51%) et de l'évacuation de la chaleur (plus de 78 %) les plus élevées ainsi que les débits volumique (plus de 3.5 m<sup>3</sup>/s) [3].

MOHAMMADREZA Shirzadi et les autres, en Avril 2019, ont écrits un article sur une expérience en soufflerie du débit de la ventilation transversale d'un bâtiment générique abrité en milieu urbain. Ils ont démontré l'effet de la densité des habitations sur la pression, sur la vitesse et le débit de la ventilation [4].

Septembre 2019, les mêmes chercheurs, ont comparés des résultats numériques modélisés par la méthode de RANS (Reynolds moyennes Navier- stokes) avec des résultats expérimentaux obtenus à l'aide de la couche limite atmosphérique [5].

## **Chapitre 01 : Etude bibliographique**

Le contexte et les résultats de cette étude sont présentés ici en détails. Le premier chapitre a été réservé à la présentation de l'étude bibliographique sur le principe de ventilation naturelle dans un bâtiment, dans le deuxième chapitre nous avons présenté deux modèles des écoulements turbulents (Le modèle  $k-\varepsilon$  et  $k-w$  SST). Les étapes de logiciel de calcul ICEM CFD et ANSYS CFX à trois dimensions (3D) est présentée dans le troisième chapitre, Le quatrième chapitre a été réservé à la présentation les conditions aux limites et les discussions des résultats. Une conclusion générale est donnée à la fin de ce document.

# **Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations**



### 2.1 Introductions

Un modèle mathématique est un ensemble d'équations différentielles régissant quantitativement un système ou un phénomène donné. Dans notre cas, le modèle mathématique considéré est celui basé sur les lois fondamentales de la physique, de la mécanique des fluides et de transfert de chaleur. Pour construire ces modèles, on suppose des hypothèses. Certaines de ces dernières sont déjà prouvées scientifiquement tandis que d'autres sont utilisées pour rendre les problèmes abordables. Tous écoulements rencontrés en pratique deviennent instables à partir d'un certain nombre de Reynolds ( $Re=U*D/V$ ) ou  $U$  et  $D$  sont respectivement la vitesse et le diamètre et  $V$  la viscosité cinématique.

Aux faibles nombres de Reynolds, l'écoulement est laminaire tandis que qu'à des nombres de Reynolds grands, l'écoulement s'avère turbulent. Un état chaotique se développe où la vitesse et la pression fluctuent continuellement dans une partie de domaine de l'écoulement.

En régime laminaire, les écoulements sont complètement décrits par les équations de continuités, de Navier-stokes, de l'Energie et d'états du fluide. Dans certains cas de configuration géométrique simple, ces équations peuvent être résolues analytiquement. Dans des cas plus complexes, ces écoulements sont traités numériquement à l'aide du logiciel CFD en anglais (computation al fluide Dynamics) comme la méthode du volume fini par exemple et pour prendre en compte l'effet de la turbulence, plusieurs modèles ont été élaborés comme les modèles k-epsilon et k-oméga.

### 2.2-La turbulence

La turbulence consiste l'état de l'écoulement d'un fluide dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire.

Ces écoulements apparaissent lorsque l'Energie cinétique qui met le fluide en mouvement est élevée par rapport aux forces de viscosité que le fluide oppose pour se déplacer.

Les propriétés du fluide varient alors d'une manière chaotique et aléatoire et le régime d'écoulement est appelé régime d'écoulement turbulent.

Cependant, une définition précise de la turbulence est difficile d'appréhender et on peut donc citer certaines caractéristiques :

## Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations

- ✓ L'état turbulent est caractérisé par des variations rapides, irrégulières de la vitesse.
- ✓ Le nombre de Reynolds est important.
- ✓ L'écoulement est tridimensionnel
- ✓ L'Energie est dissipé.
- ✓ La turbulence n'est pas une propriété du fluide mais un régime particulier (donc caractéristiques invariable).
- ✓ Les mélanges sont importants et plus rapidement fait que par la diffusivité habituelle.

### 2.3- Impact de la turbulence sur les équations de Navier-stokes

Les ordinateurs actuels ne peuvent assurer la simulation directe des équations de Navier-stokes pour un écoulement turbulent car elle nécessite des moyens phénoménaux et des matériels très développés.

Néanmoins, en ingénierie on a besoin uniquement de procédure de calcul qui puissent fournir des informations adéquates concernant les effets prépondérants de la turbulence. Les informations fournies par la connaissance des propriétés moyennes par rapport au temps sont suffisantes pour l'ingénierie.

#### 2.3.1 Équation du modèle

Les équations exprimant les phénomènes d'écoulements sont principalement celles de dérivées de lois physiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

##### 2.3.1.1 Equation de continuité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

##### 2.3.1.2 Equation de quantité de mouvement suivant (x)

$$\frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.2)$$

##### 2.3.1.3 Equation de quantité de mouvement suivant y

## Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations

$$\frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.3)$$

### 2.4 Modèle de turbulence

Pour la simulation de l'écoulement turbulent, l'une des problèmes majeurs de la résolution des équations de Navier-stokes réside l'emploi d'un schéma de la turbulence indispensable. Il s'agit, alors de trouver, le modèle qui peut prendre en compte avec précision, la réalité physique de l'écoulement. Dans ANSYS, plusieurs schémas sont disponibles. Parmi eux on peut citer :

- **K-EPSILON (k-ε)**
- **K-OMEGA (k-ω)**

Les modèles **k-ε** de Wilcox (1986) et **k-ω** de MENTER (1994), sont présents dans la majorité des logiciels de la dynamique de fluide. Ces modèles sont basés sur l'énergie cinétique turbulente **K** et son taux de dissipation **ε**, ou sur la fréquence caractéristique **ω**. Ils utilisent la viscosité turbulente, pour relier les contraintes de Reynolds, et les termes de flux turbulent aux variables moyennes de l'écoulement et implique l'hypothèse de la diffusion pour relier les contraintes de Reynolds, aux gradients de vitesse moyennes et à la viscosité turbulente. Dans ces modèles, l'échelle de la vitesse turbulente est calculée à partir l'énergie cinétique turbulente **K** et celle de la longueur turbulente est estimée de deux propriétés cinétiques turbulentes du champ de turbulence généralement l'énergie cinétique turbulente et son taux de dissipation.

Les modèles standards à deux équations donnent des bonnes prévisions pour un grand nombre d'applications. Par contre, il existe des faiblesses de ces derniers et ont eu un certain nombre des modifications et des perfectionnements. Une amélioration importante sur le modèle *k-ω*, en termes de prévisions de séparation de l'écoulement a été réalisés par le modèle *SST* « *SHEAR STRESS TRANSPORT* ». Ce modèle a l'avantage de coupler un schéma *k-ε* et *k-ω*. il utilise près de la paroi du modèle *k-ω* et dans la zone de l'écoulement principal (loin la paroi) le modèle *k-ε*. Le passage est automatique, il est basé sur la distance par rapport à la paroi, ainsi que la limite de transport des contraintes de cisaillement. Le modèle est performant pour la simulation des écoulements dans les couches limites. Outre, l'inconvénient du modèle *SST* est le nombre élevé des équations additionnelles de transport (sept équations en total) qui réduisent la stabilité numérique et augmentent le temps de calcul.

### 2.4.1 Modèle standard k-ε

Il s'agit d'un modèle à deux équations qui donne une description générale de la turbulence au moyen de deux équations de transport, une pour l'Énergie cinétique turbulente et l'autre pour la dissipation.

La dissipation turbulente est la vitesse à laquelle les fluctuations de vitesse se dissipent. Les coefficients sont dérivés empiriquement, valable uniquement pour les débits turbulents.

Dans le modèle standard  $k$ - $\varepsilon$ , la viscosité turbulente est déterminée à partir d'une échelle de longueur de turbulence unique de sorte que la diffusion calculée est celle qui ne se produit qu'à l'échelle spécifiée, alors que en réalité toutes échelles de mouvement contribuent à la diffusion turbulente.

Le modèle  $k$ - $\varepsilon$  est un modèle simple, performant et économique. Par contre il ne tient pas en compte de l'effet de la rotation, ni de courbure et il a une mauvaise prise en compte des phénomènes de décollement de la couche limite. Dans ce cas le modèle  $k$ - $\omega$  a une bonne prédiction de la séparation de la couche limite et son rattachement.

#### 2.4.1.1 équations de transport du modèle standard k-ε

Les équations de transport  $k$ - $\varepsilon$  présentent beaucoup de termes inconnus et non quantifiés.

Pour une approche beaucoup plus pratique, la norme  $k$ - $\varepsilon$  turbulence modèle (LAUNDER ET SPALDING, 1974) a été utilisée, elle est basée sur une meilleure compréhension des processus, réduit les inconnues et présentent un grand nombre d'équation qui peut être appliqués à un grand nombre d'application turbulents.

Le modèle de turbulence  $k$ - $\varepsilon$  est un modèle de viscosité dans lesquelles les contraintes de Reynolds sont supposés être proportionnelles aux gradients de la vitesse moyennes avec une constante de proportionnalité représentant la viscosité turbulente  $\mu_t$ . cette dernière hypothèse dénommée BOUSSINESQ. Les équations de l'énergie cinétique turbulente ( $k$ ) et son taux de dissipation ( $\varepsilon$ ) sont exprimées :

$$\frac{\partial k}{\partial t} = P_k - \varepsilon + D + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (2.4)$$

## Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} f_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + E + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) \quad (2.5)$$

Ou D et E sont les termes correctifs de paroi. La viscosité dynamique turbulente est donnée :

$$\mu_t = c_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.6)$$

Avec  $f_\mu$  et  $f_{\varepsilon 2}$  : désigne chacune une fonction d'amortissement destinée à prendre en compte les effets de la paroi.

### 2.5.1 Modèle standard k-oméga (k- $\omega$ )

Le modèle k-oméga est un modèle largement répandu basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulence et de dissipation. Il prédit des résultats cohérents notamment pour les écoulements cisailés simples. Il a une dépendance locale et linéaire des tensions de Reynolds et des champs moyens et il est peu adapté pour les écoulements complexes (recirculation, anisotropie, production forte).

#### 2.5.1.1 équations de transport du modèle standard k- $\omega$

$$\frac{\partial k}{\partial t} = P_k - \beta^* \omega k + D + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \sigma_\omega \mu_t \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \gamma \frac{\omega}{k} P_k - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \sigma_\omega \mu_t \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (2.8)$$

Avec  $\omega = \frac{\varepsilon}{\beta^* k}$  ;  $\beta^* = 0.009$  ;  $\mu_t = \frac{k}{\omega}$  ;  $\beta = \frac{3}{40}$  ;  $\gamma = \frac{5}{9}$  ;  $\sigma_k = 0.5$  ;  $\sigma_\omega = 0.5$

### 2.6 Le modèle SST (Shear Stress Transport)

Ce modèle a des améliorations par rapport d'autres modèles. Il a les avantages de k-oméga en zone proche de la paroi et de k-epsilon en zone du corps. Il comporte un terme en plus dans ces équations de transport.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \sigma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \sigma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (2.10)$$

## Chapitre 02 : Modèle mathématique des équations

### 2.7 Différence entre modèles k- $\omega$ et SST

La principale différence est que le modèle SST utilise le modèle k-oméga dans la zone proche de la paroi et le modèle k-epsilon dans les zones de la paroi.

On note aussi une modification de la formulation du terme viscosité turbulente pour exprimer correctement les effets de transport de la contrainte de cisaillements turbulente.

# **Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX**

### 3.1 Introduction

Ce chapitre traitera à la description du modèle numérique. Dès le développement des premiers ordinateurs et de la programmation, les scientifiques ont opté une autre méthode de travail plus efficace et surtout plus précise (voir à l'échelle microscopique). Celle-ci consiste à représenter les phénomènes physiques tel que l'écoulement des fluide, dispersion de chaleur etc., sous formes numérique pour mieux appréhender le comportement des certaines matières dans la réalité. Ainsi cet essor numérique a favorisé a la compréhension et la maîtrise des certains phénomène physique jusqu' à la méconnu par la communauté scientifique (par exemple dans l'aéronautique).

La simulation numérique consiste l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique réelle et complexe (exemple écoulement de l'air dans une soufflerie). Pour cette raison on combine l'électroniques (les ordinateurs de RAM élevé) d'une part et d'autre part les mathématiques.

Finalement, les résultats obtenus dépendront la complexité du phénomène étudié, le logiciel utilisé, du matériel engagé (puissance de l'ordinateur) et du savoir-faire de l'utilisateur (avoir une compétence théorique et pratique).

### 3.2 Présentation du logiciel utilisé pour la simulation numérique

Les équations de Navier stokes sont des équations différentielles non linéaires couplées dans un système et ne pourraient être résolus analytiquement que pour des cas particuliers tels que l'écoulement unidimensionnels autour de la plaque plane. Par conséquent, ce système d'équation est résolu numériquement pour les cas généraux. Pour des géométries plus complexes, ces écoulements sont traités à l'aide du technique **CFD (computational fluide Dynamic)**. Il existe un certain nombre de méthodes de résolution qui sont employés dans le code CFD, telle que la méthode de l'élément finis, différence finie, et la méthode de volumes finis, sur laquelle est basé le code ANSYS CFX.

#### 3.2.1 ANSYS ICEM CFD

Ce module a pour rôle de préparer la configuration géométrique et de générer un maillage. Dans notre travail, on a utilisé ANSYS ICEM.CFD version 18.0. Ce logiciel, de par sa robustesse et sa simplicité permet de bien élaborer des géométries plus au moins complexes.



## Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

Pour son maillage, il utilise des structures mono blocs ou multi blocs en fonction de la géométrie, il peut générer un type de maillage (maillage tétraédrique). Un fichier de données (\*CFX5) (\*nom du fichier) doit s'exporter via output.

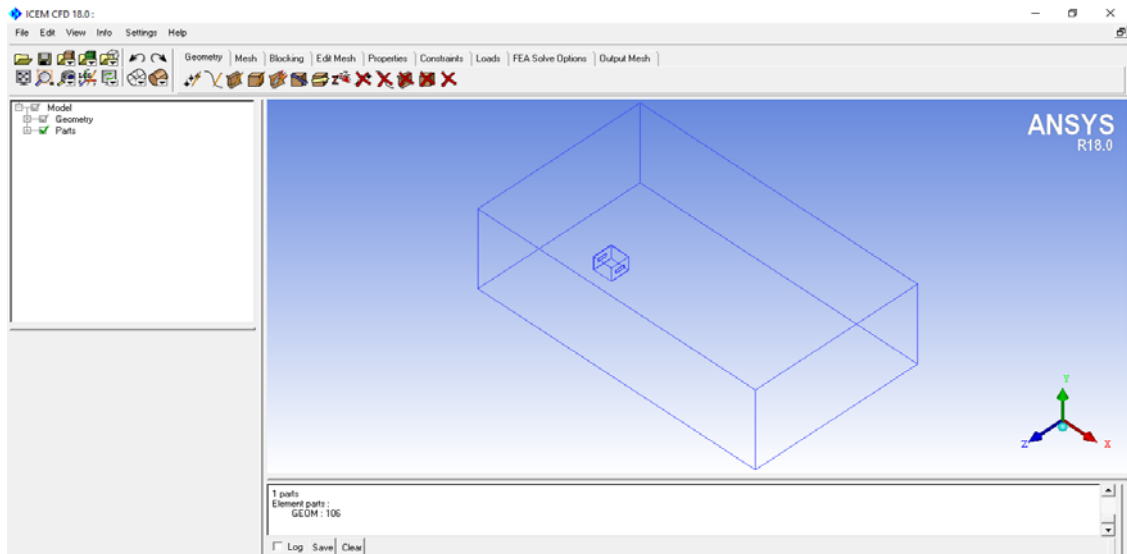


Figure 3.1 : La géométrie par logiciel ICEM CFD.

### 3.2.1.1 Création de la géométrie

Les opérations exécutées dans cette phase sont les suivantes :

- Création de la géométrie et du domaine de calcul qui doit simuler la veine d'essais.

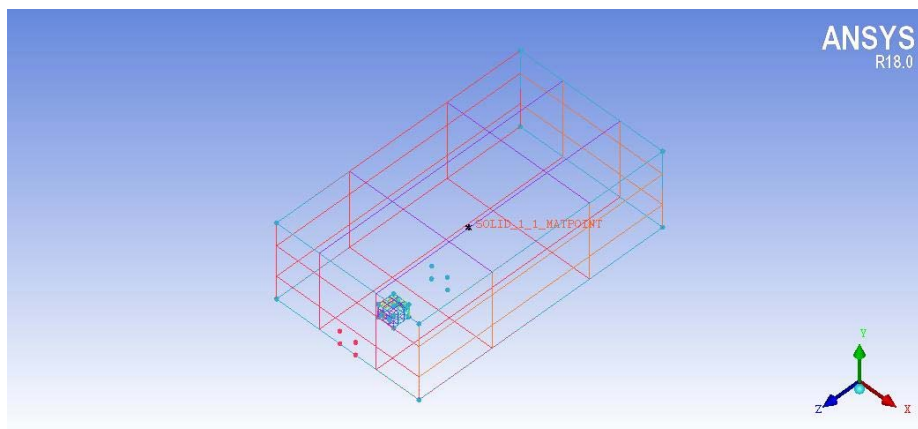


Figure 3.2 : Le domaine de calcul avec la géométrie de bâtiment.

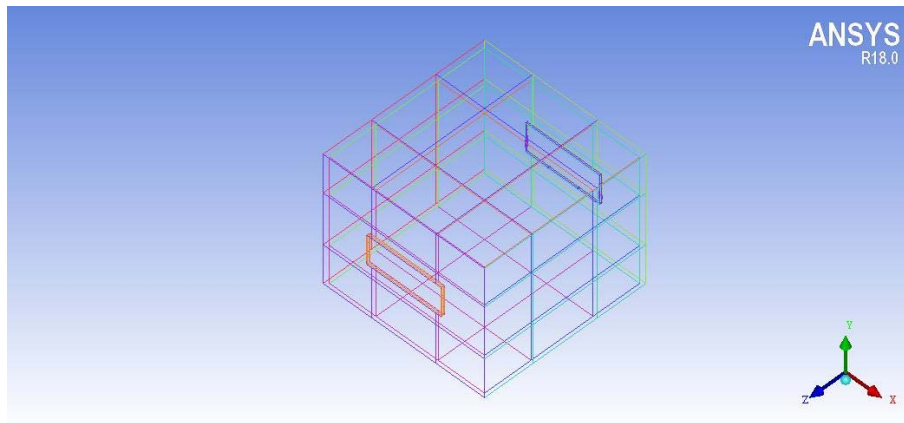


Figure 3.3 : La géométrie de notre bâtiment.

### 3.2.1.2 Génération du maillage

Le maillage est l'opération qui sert à subdiviser la géométrie en volumes de contrôles pour résoudre le problème par la méthode de volume finis.

Il sert à faire une représentation discrète d'une variable continue. Ainsi la solution numérique repose sur ce maillage. Les méthodes numériques discrétisent les équations sur un maillage du domaine physique considéré. La méthode numérique fait une approximation de la valeur lors des problèmes qui évolue. Les formes quadrilatères et triangulaires sont des mailles primitives. Ainsi les autres formes telles que les tétraèdres, hexaèdres, prismes et pyramides sont aussi utiliser. Le maillage structuré peut générer en reproduisant plusieurs fois une maille élémentaire : il est utilisé dans les géométries simple (cylindre, cube, rectangle etc....). Par contre pour des géométries plus complexes (hexagone, polygone etc....) , le type de maillage est maillage tétraédrique.

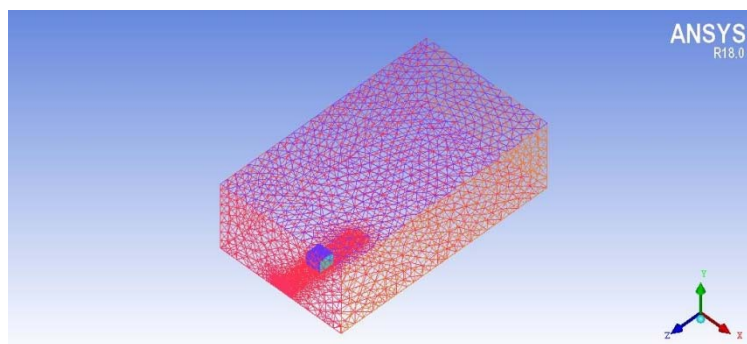


Figure 3.4 : Maillage du domaine de calcul.

### 3.2.2 ANSYS CFD.CFX

## Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

Le code **ANSYS CFX** est un code de calcul des écoulements qui appartient à la famille **CFD**. Il combine trois modules principaux.

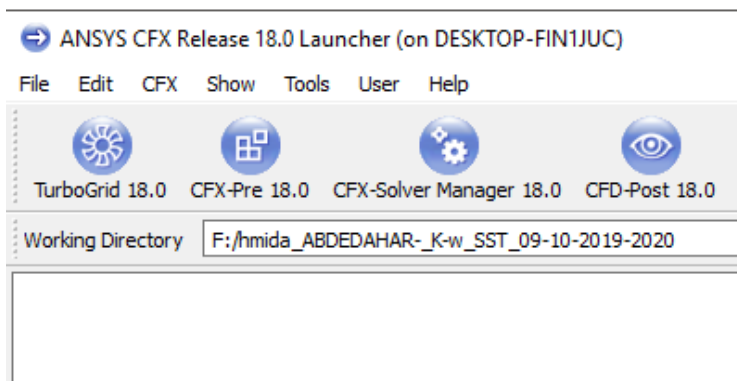


Figure 3.5 : Interface de logiciel ANSYS CFX.

- **Etape de Pré-Processing**

Dans l'interface **CFX-Pre** sont introduits les différents paramètres concernant l'écoulement :

1. Conditions initiales et conditions aux limites ;
2. Choix du modèle de turbulence ;
3. Choix du nombre d'itération ;

- **Etape de SOLVER CFX**

Enfin le **SOLVER CFX** entame les calculs

- **Etape de Post-Processing**

Dans l'étape du **Post**, tous les résultats de la simulation peuvent être exploités, tels que la vitesse, la pression et autres paramètres obtenus lors des calculs. Il est possible de visualiser les contours de pression, le champ de vecteur de vitesses, les lignes de courant, etc.

### 3.2.2.1 Etape de Pré-Processing

Ce module offre une interface puissante pour la définition du problème :

Conditions initiales, conditions aux limites, propriété des fluides d'écoulement etc..... le domaine de calcul est défini à l'aide du module **CFX Pré**. Tout d'abord on définit la nature du fluide compressible/incompressible suivant l'hypothèse adopté. Le choix du régime est

## Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

donné stationnaire et instationnaire. Le modèle de turbulence est celui de limite à chaque section entourant le domaine de calcul. Il reste à déterminer les conditions aux limites.

La méthode numérique utilisée est les volumes finis combinée à un algorithme de couplage vitesse/pression pour résoudre les équations moyennées de Reynolds. Une fois que la définition du problème est établie, il faut exporter un fichier de définition (\*.DEF) vers le module CFX.SOLVER pour solutionner le problème.

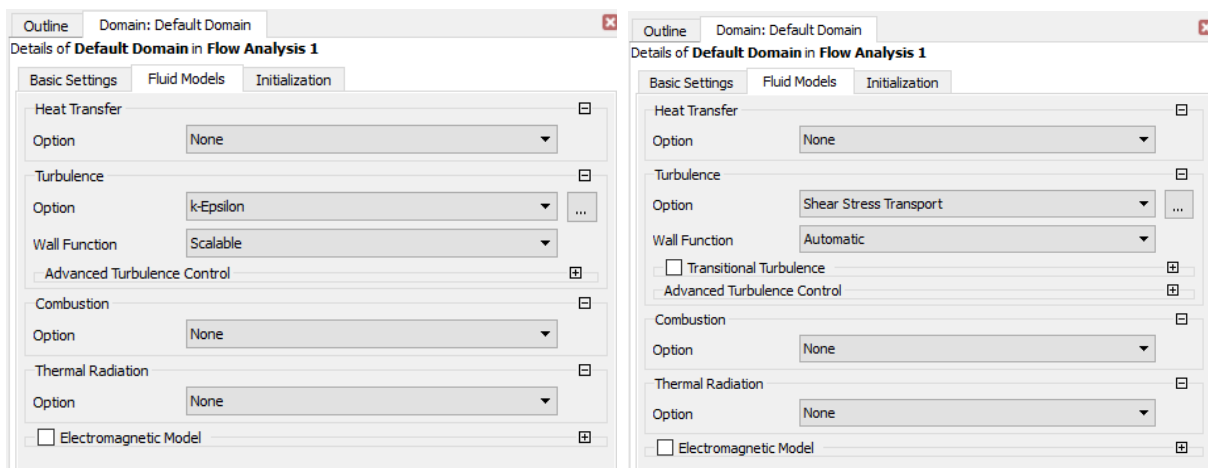
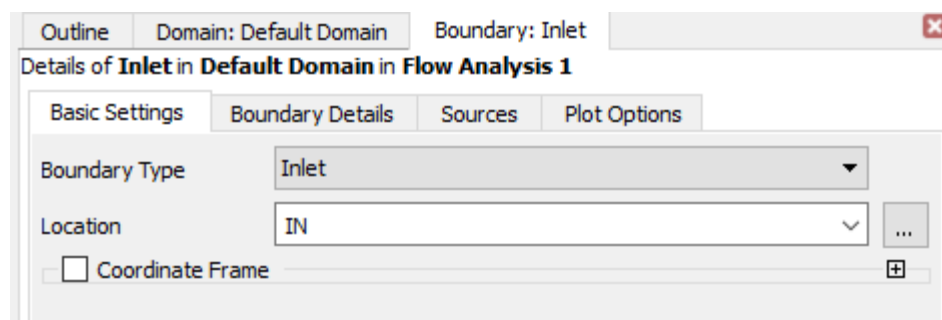


Figure 3.6 : Définition de domaine de calcul.

### Les conditions initiales et conditions aux limites au code CFX-pre

Nous avons pris les profils de vitesse, l'énergie cinétique turbulente et taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente.

#### 1. INLET (Entrée)



## Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

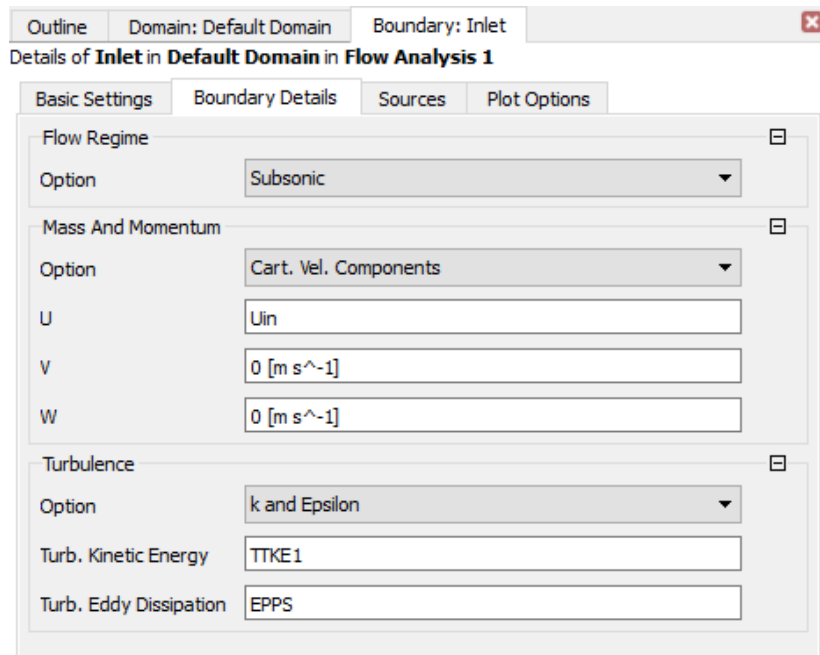


Figure 3.7 : Définition des conditions aux limites à l'entrée.

### 2. OUTLET (Sortie)

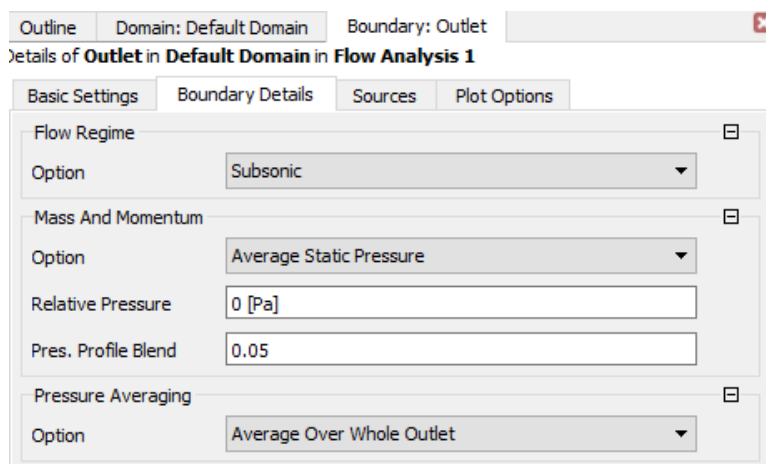
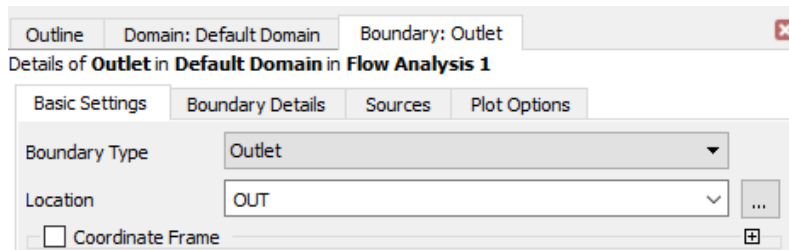


Figure 3.8 : Définition des conditions aux limites à la sortie.

### 3. OPENINGS (Ouvertures)

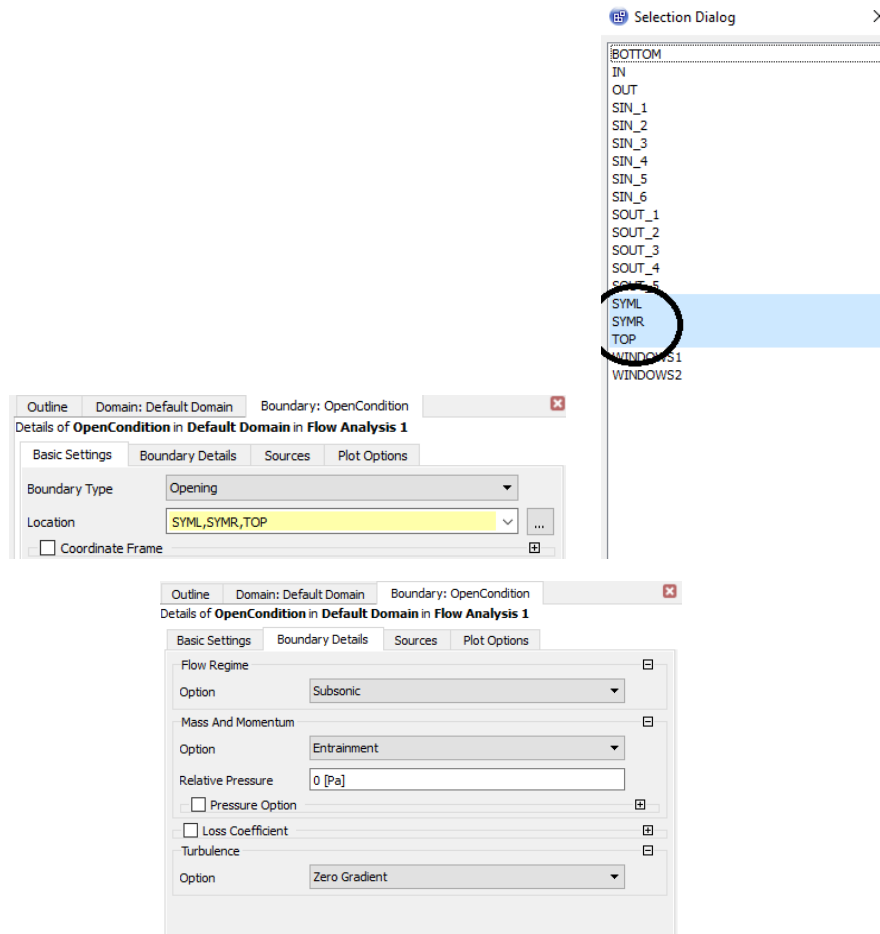
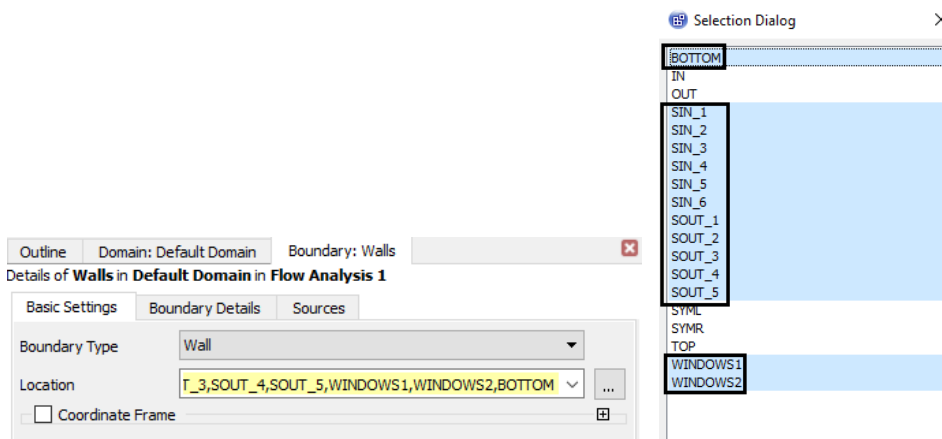


Figure 3.9 : Définition des conditions aux limites des surfaces ouvertes comme les deux symétries et le toit de domaine.

- **WALLS (Murs)**



## Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

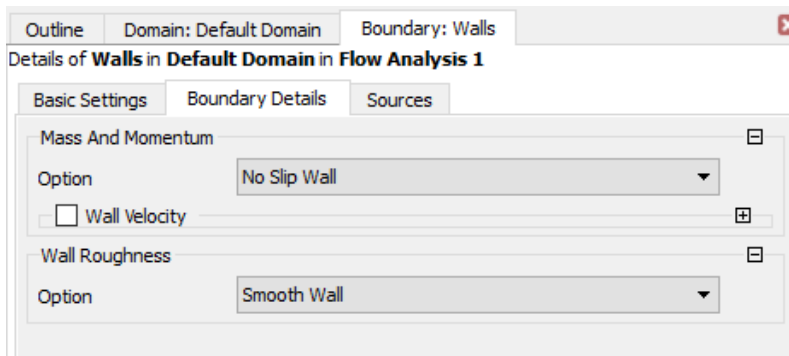


Figure 3.10: Définition des conditions aux limites de la surface de bâtiment et la base de domaine.

### 3.2.2.2 Etape de SOLVER CFX

Le solveur permet de visualiser les informations sur la progression des convergences à travers la définition d'exécution et de contrôle avec des graphes configurés pour l'utilisateur aussi bien l'affichage de multiple exécution simultanée sur l'écran. Il est un code couplé d'un code complètement implicite et utilise la technique de factorisation pour résoudre la discrétisation des équations linéaire.

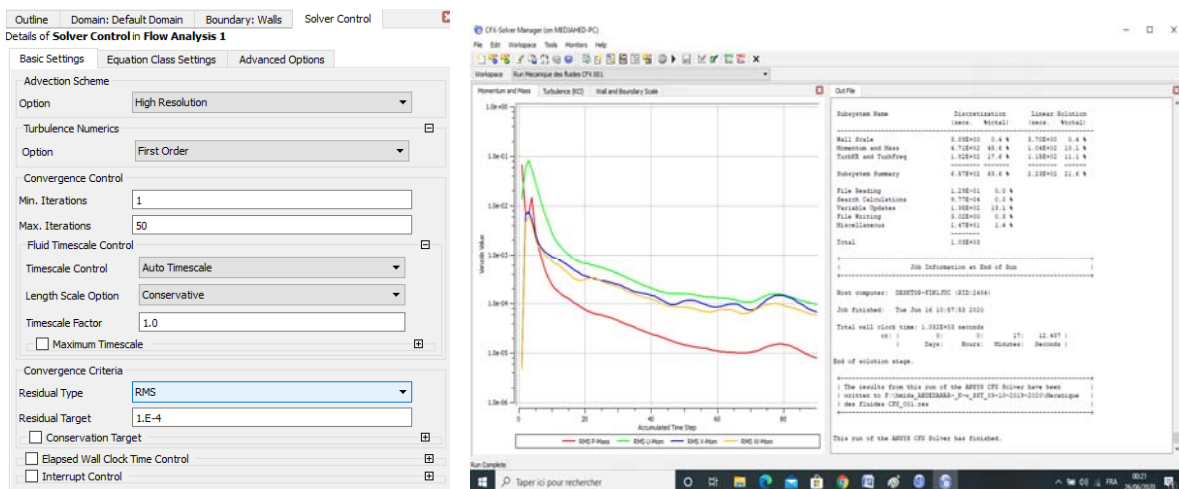


Figure 3.11: Définition du nombre d'itération et progression des convergences.

Chapitre 03 : Présentation du logiciel de calcul ANSYS CFX

3.2.2.3 Etape de Post-Processing

Cette interface est conçue pour la visualisation facile et le traitement quantitatif du résultat de simulation.

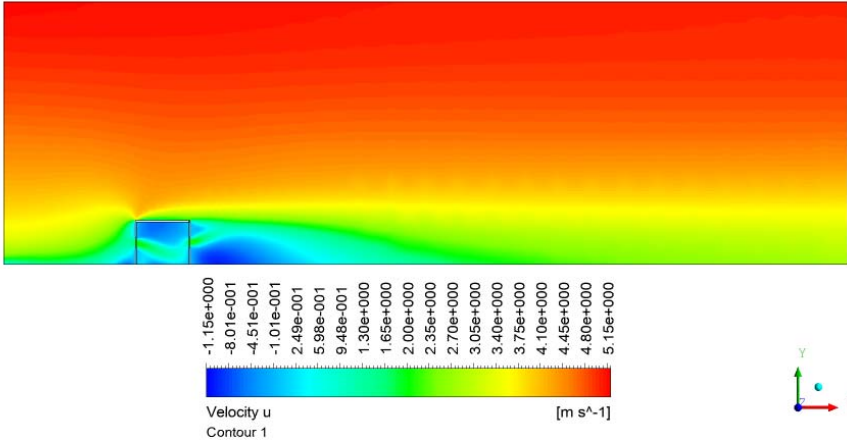


Figure 3.12: Contour de vitesse par logiciel ANSYS CFX (Post-pro).



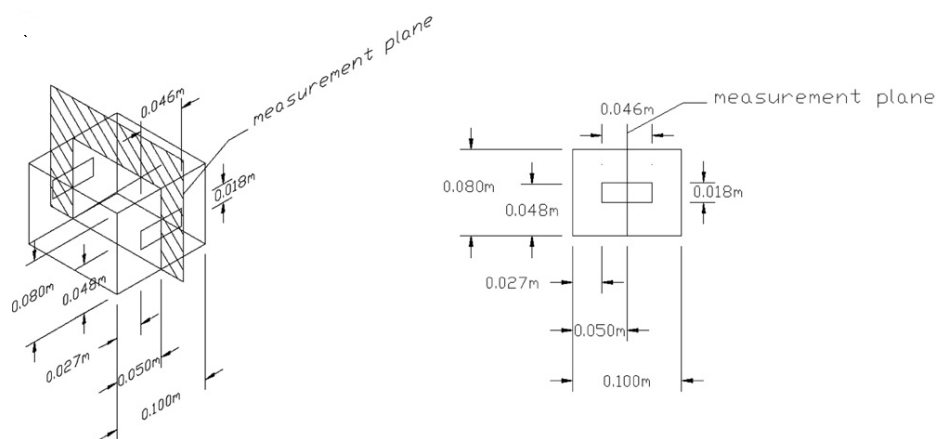
# **Chapitre 04 : Résultats et discussion**

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

Dans ce présent chapitre, nous présentons les résultats obtenus à l'aide des deux logiciels ANSYS ICEM CFD et ANSYS CFX. Les simulations ont été réalisées pour la prédiction des champs de l'écoulement turbulent. La partie dynamique, on a étudié les deux modèles de turbulences (k-e, k-w, SST).

### 4.1 Domaine de calcul :

Le domaine de simulation est un rectangle de longueur  $L = 1,54$  m, de largeur  $W = 0,9$  m et de hauteur  $H = 0,48$  m, dans lequel est placé un cube de dimension extérieure  $l = 0,1$ ,  $l = 0,1$  et  $h = 0,08$  m,  $l$ ,  $w$  et  $h$  sont respectivement la longueur, la largeur et la hauteur du bâtiment, l'épaisseur du mur est  $e = 0,002$  m. Le bâtiment a deux ouvertures symétriques de même dimension  $h_0 \times l_0$  ( $0,018 \times 0,046$  m<sup>2</sup>) au centre du vent et sous le vent, comme le montre la Figure 4.1. La dimension du modèle de bâtiment est une échelle réduite du modèle utilisé en soufflerie par Karava et al [6].



**Figure 4.1 :** Domaine de calcul et géométrie du bâtiment. Dimension en m [6].

### 4.2 Conditions aux limites:

Les conditions aux limites utilisées dans cette étude sont similaires aux conditions aux limites de l'expérience en soufflerie atmosphérique réalisée par Tominaga et al [1].

Le profil de vitesse à l'entrée est produit à partir d'une loi logarithmique ( voir Eq.01), le profil est donné par:

$$U(z) = \frac{u_{ABL}^*}{\kappa} \ln \left( \frac{z+z_0}{z_0} \right) \quad (1)$$

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

Avec  $z$  la coordonnée de hauteur,  $z_0 = 0009\text{m}$  est la rugosité aérodynamique,  $u^*_{ABL}$  est la vitesse de frottement de la couche limite atmosphérique ( $u^*_{ABL} = 0.348$ ) et  $\kappa$  la constante de Von Karman ( $\kappa = 0,42$ ),  $z_0$  est déterminée en ajustant la profil de vitesse pour l'échelle réduite. L'énergie cinétique turbulente  $k$  et la dissipation de l'énergie cinétique turbulente  $\varepsilon$  sont donnés par les expressions Eq. 2 et Eq.3 respectivement:

$$\frac{k(z)}{U_h^2} = 0.033 \exp^{-0.32\left(\frac{z}{h}\right)} \quad (2)$$

$$\varepsilon(z) = \frac{(u^*_{ABL})^3}{\kappa(z+z_0)} \quad (3)$$

$U_{ref}$  représente la vitesse du vent à la hauteur du bâtiment  $h$  ( $h = 0,16 \text{ m}$ ), pour le cas étudié  $U_{ref} = 8.6 \text{ m / s}$ . Dans le modèle  $k$ - $\varepsilon$  SST, la dissipation spécifique  $\omega$  est calculée en fonction de la dissipation  $\varepsilon$ , de l'énergie cinétique turbulente  $k$  et de la constante empirique  $C_\mu = 0,09$ , en utilisant la relation suivante :

$$\omega(z) = \frac{\varepsilon(z)}{C_\mu k(z)} \quad (4)$$

### 4.3 Grilles de simulation :

La grille de simulation est créée à l'aide d'ANSYS ICEM CFD et elle est illustrée à la Figure 4.2. La grille se compose d'une majorité de cellules tétra-hydriques avec des couches de prisme près des murs, afin d'avoir un  $y^+$  inférieur à 2, et une densité élevée près et à l'intérieur du bâtiment, Figure 4.2.

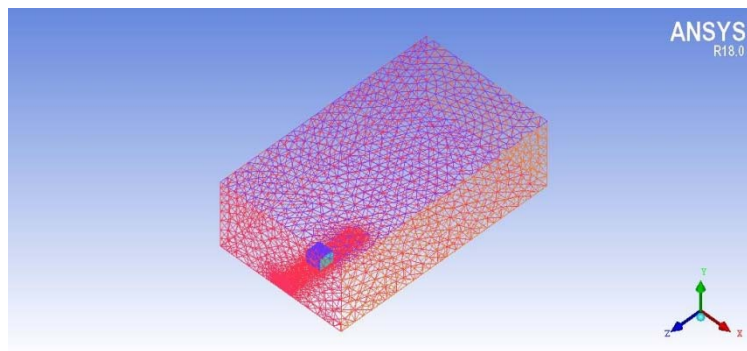
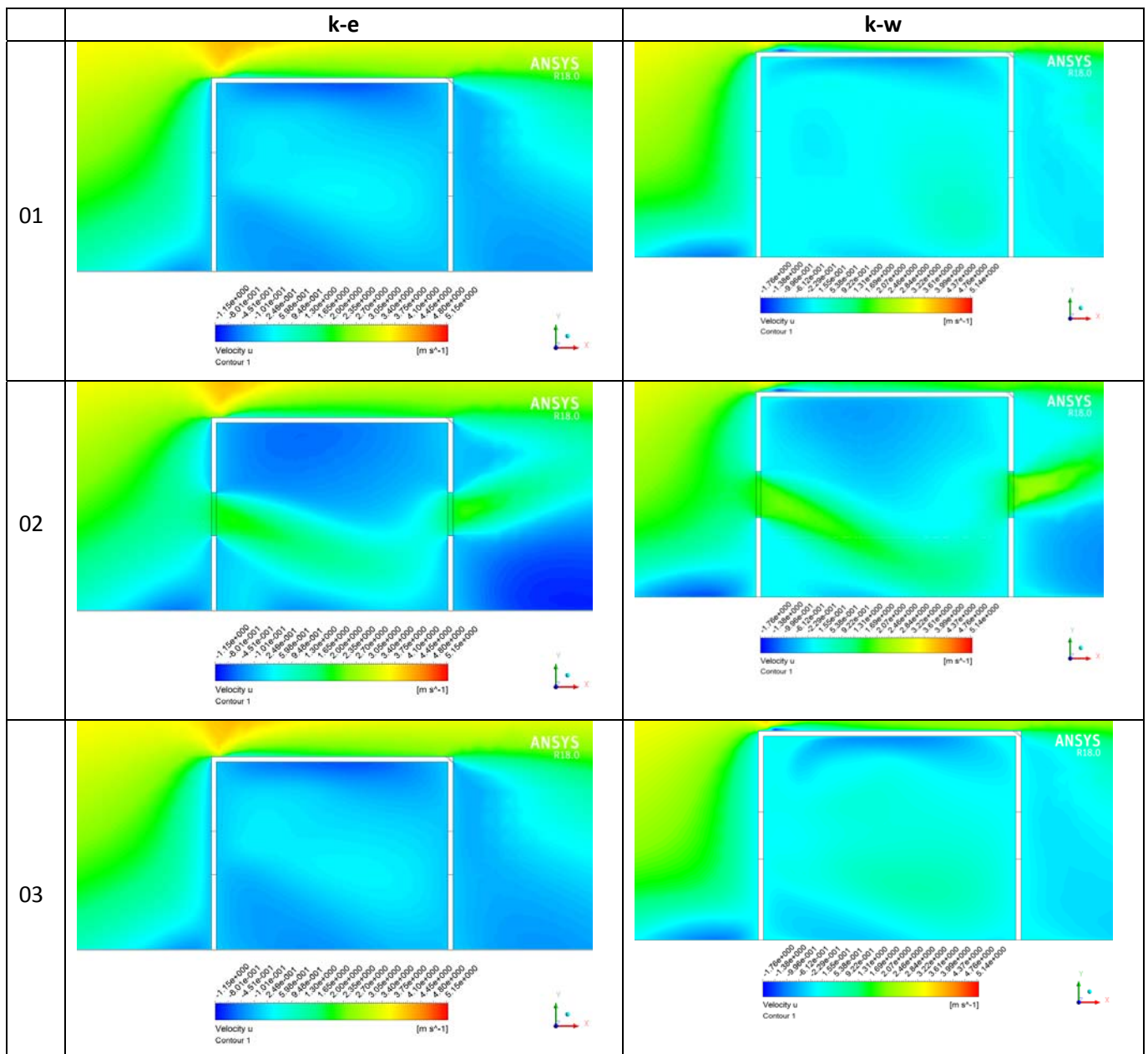


Figure 4.2 : Maillage du domaine de calcul.

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

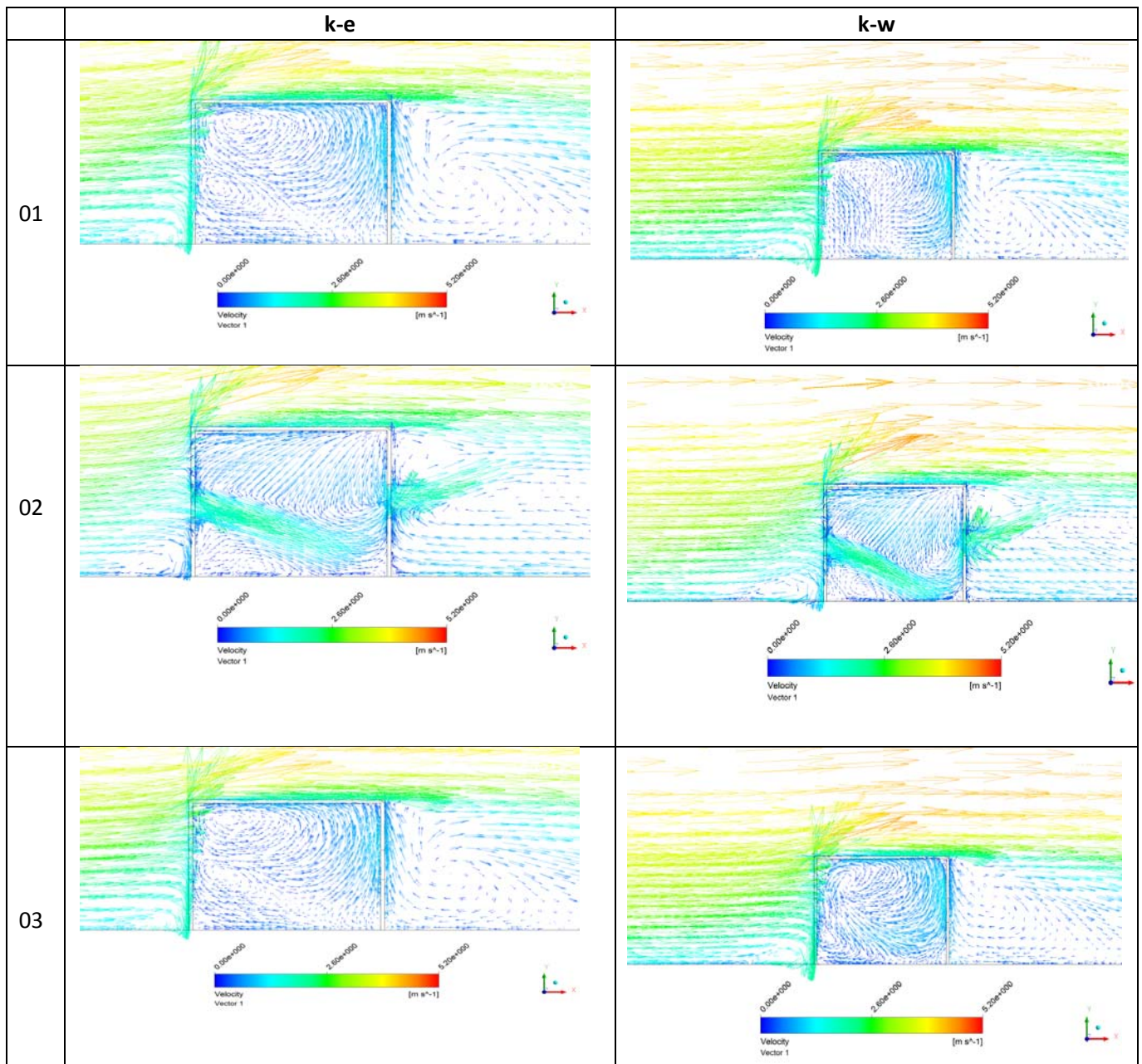
### 4.4 Résultats et discussion

Les figures 4.3 et 4.4 montrent une comparaison des contours et des vecteurs de vitesses dans un trois plans entre deux modèles de turbulence (k-e et k-w SST), On observe la vitesse moyenne dans le plan médian vertical pour les deux modèles (k-e et k-w) et le rapport de vitesse du vent dans le sens le long de la ligne de connexion entre les centres des fenêtres sont montrés sur la base des résultats de la simulation numérique de cette étude et des données rapportées par Karava et Tominaga. Malgré les différences dans certains résultats, dans l'ensemble, les résultats sont en assez bon accord.



**Figure 4.3 :** Comparaison du contour de vitesse des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01)  $z=0.0375$  m, 02)  $z=0$  m et 03)  $z=-0.0375$  m.

## Chapitre 04 : Résultats et discussion



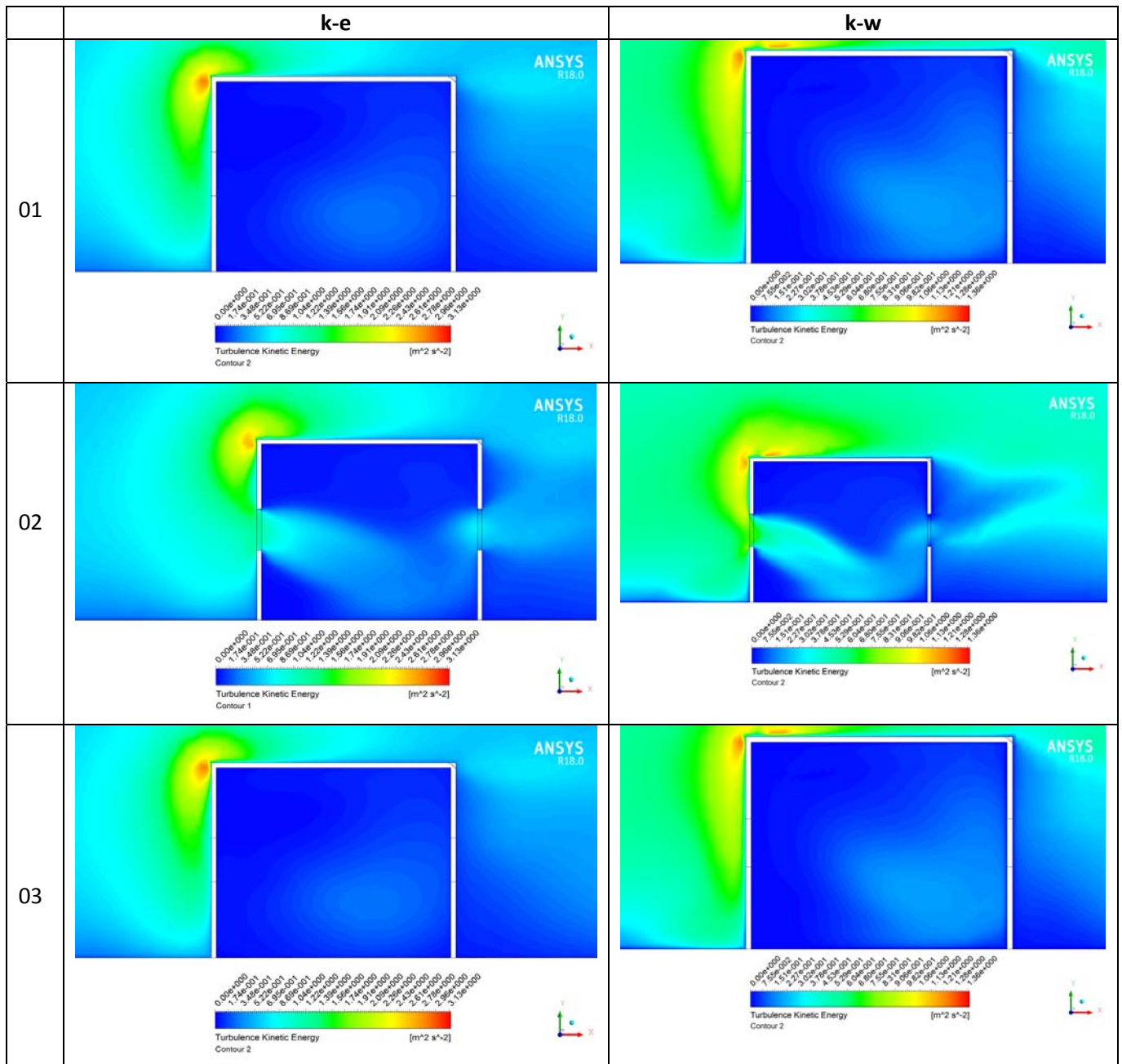
**Figure 4.4 :** Comparaison du contour des vecteur vitesses des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01)  $z=0.0375$  m, 02)  $z=0$  m et 03)  $z=-0.0375$  m.

La figure 4.5 montrent une comparaison des contours de l'énergie cinétique turbulente dans un trois plans verticaux entre deux modèles de turbulente (k-e et k-w SST), On observe que l'énergie cinétique de turbulence est sous estimées par rapport aux valeurs mesurées en soufflerie.

Dans la région du jet où les phénomènes de transition ne sont pas majoritaires et où le flux est caractérisé par une direction principale, les valeurs de l'énergie cinétique turbulente atteignent les mesures correspondantes et cela montre un bon accord, en particulier aux positions du

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

premier pas de distribution de l'air ou à l'entrée de bâtiment dans le plan médian et même les autres plans 1 et 3.

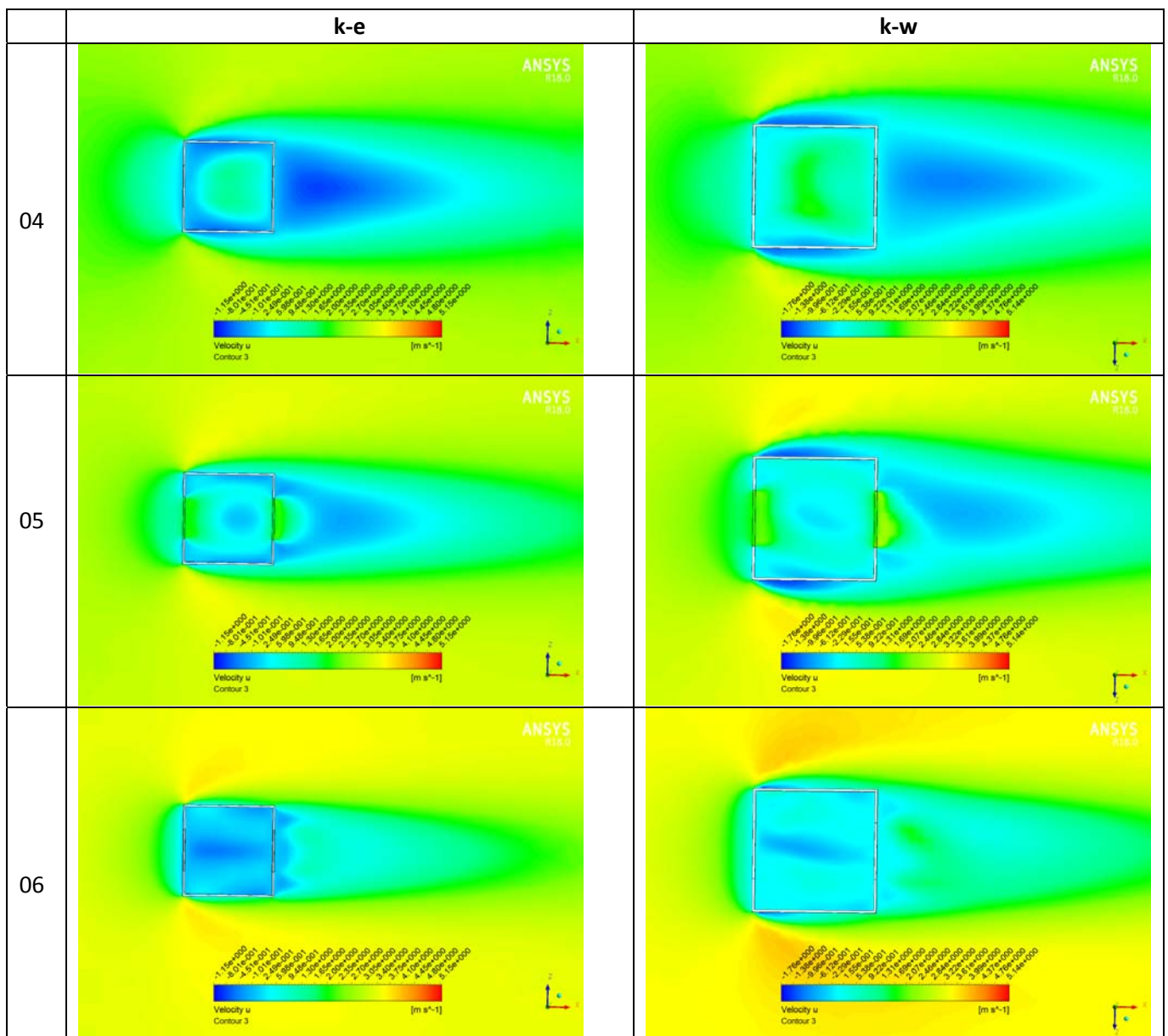


**Figure 4.5:** Comparaison du contour de l'énergie cinétique turbulente des plans verticaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 01)  $z=0.0375$  m, 02)  $z=0$  m et 03)  $z=-0.0375$  m.

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

Les figure 4.6 et 4.7 montrent une comparaison du contour de vitesse des plans horizontaux et l'énergie cinétique turbulent entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, (Plan : 04)  $y=0.02$  m, 05)  $y=0.04$  m et 06)  $y=-0.06$  m).

Sur cette figure 4.6, est illustré le champ de vitesse (U) horizontale au niveau des plan :  $y=0.02$  m,  $y=0.04$  m et  $y=-0.06$  m (au dessous de toit): on remarque que les valeurs maximales de la vitesse sont localisées dans la région en amont. Le bâtiment font obstacles au passage du vent, sa vitesse subit alors un ralentissement. Cette vitesse diminue avec la distance pour atteindre la vitesse uniforme du milieu ambiant. Une zone de recirculation caractérisée par des valeurs négatives de la vitesse est remarquée en aval des faces cachées de Bâtiment.

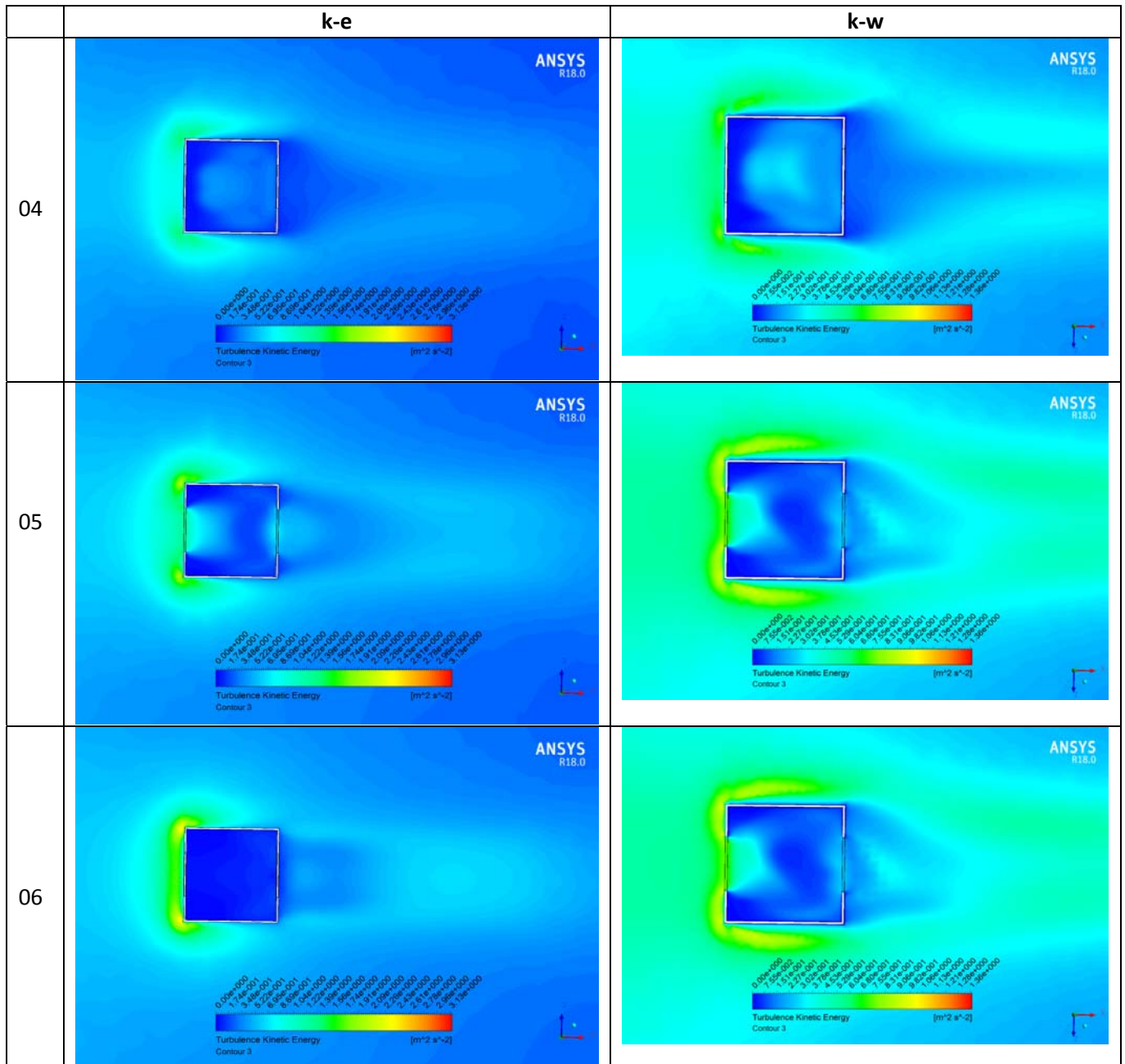


**Figure 4.6 :** Comparaison du contour de vitesse des plans horizontaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, (Plan : 04)  $y=0.02$  m, 05)  $y=0.04$  m et 06)  $y=-0.06$  m).

## Chapitre 04 : Résultats et discussion

Dans la figure 4.7, on observe que L'énergie cinétique de turbulente (TKE) est intimement liée au mouvement du fluide et à l'état de turbulence de cet écoulement.

Pour des hauteurs en dessous de toit, elle est spécialement localisée en amont de la première rangée de bâtiment, à l'intérieur de la canopée et pour un angle d'incidence de  $0^\circ$  les faces amont de bâtiment sont aussi des lieux de production privilégiés, alors que cette production est plus importante au niveau des toits.

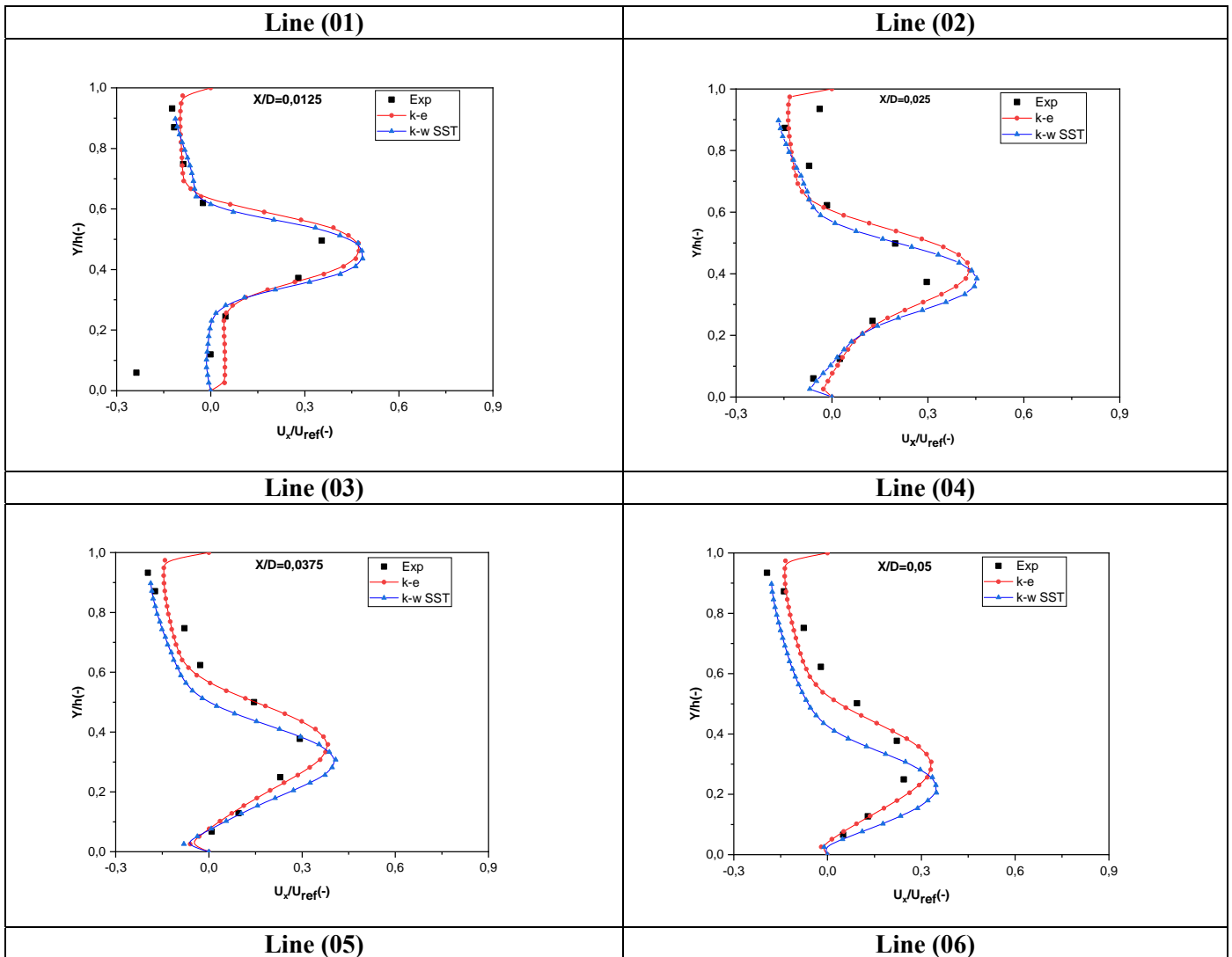


**Figure 4.7 :** Comparaison du contour de l'énergie cinétique turbulent des plans horizontaux entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans trois plans, Plan : 04)  $y=0.02$  m, 05)  $y=0.04$  m et 06)  $y=0.06$  m.

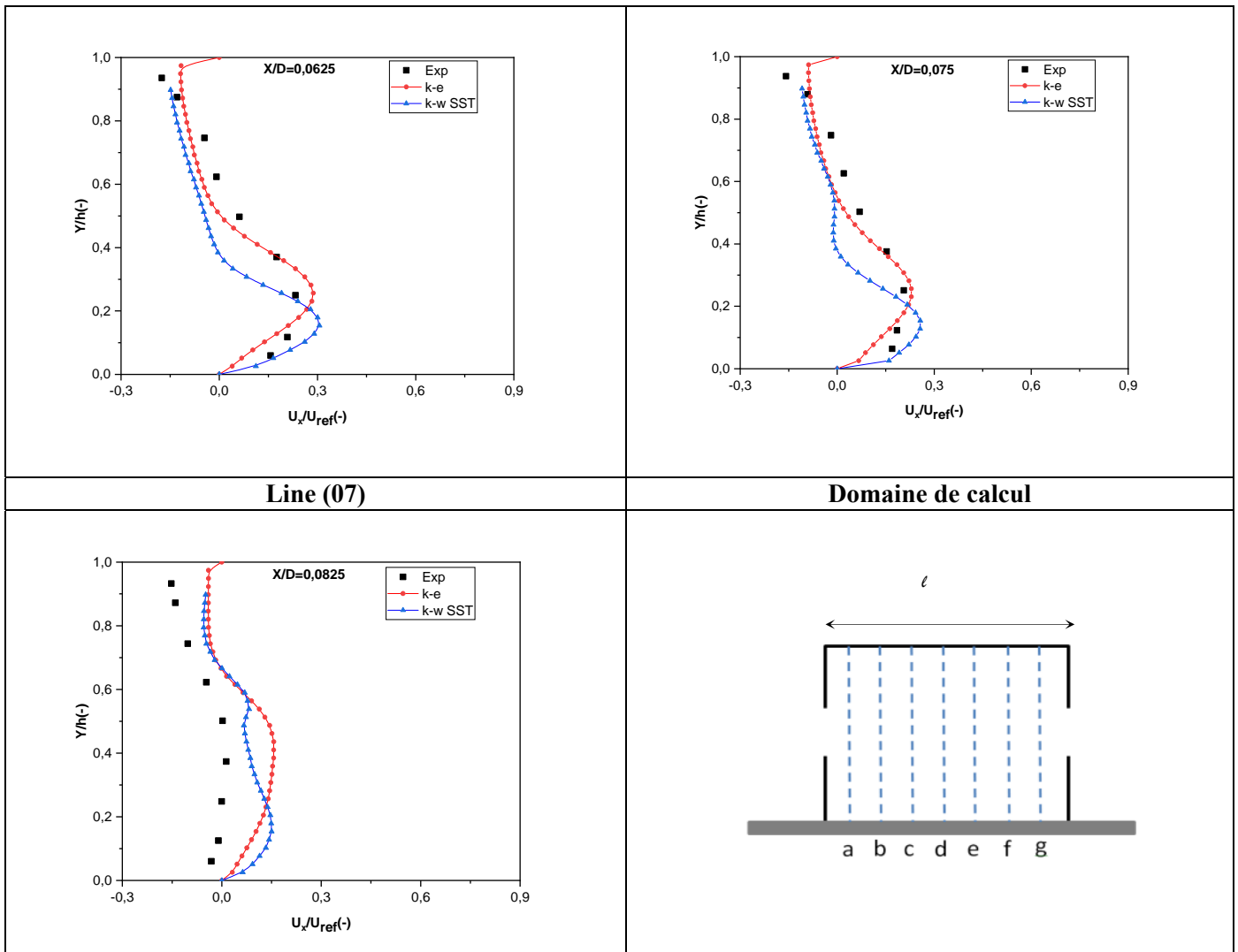


## Chapitre 04 : Résultats et discussion

La figure 4.8 représente une comparaison des résultats de la simulation numérique de la ventilation croisée sur le plan central du bâtiment ( $z/w = 0$ ) avec ceux mesurés expérimentalement par Tominaga et al. Aux mêmes positions de ligne, cette figure montre les profils de la composante de vitesse sans dimension verticale ( $U / U_{ref}$ ) le long d'une ligne verticale serval à une position différente  $x/l$  à l'intérieur du bâtiment (de 0,0125 à 0,0875 avec un pas de 0,0125). A noter que sur les quatre premières positions (1, 2, 3 et 4) les résultats numériques sont légèrement surestimés dans la zone du jet (zonez central /  $h$  compris entre 0,2 et 0,5). Au contraire, en dessous de  $Y / h = 0,2$  (zone de jet) la composante de vitesse est très proche des mesures correspondantes sur cet intervalle, dans la région supérieure (au dessus de  $Y / h = 0,5$ ) les résultats numériques sont significativement sous-estimés par rapport à la mesure résultats. En général, les profils numériques et expérimentaux ont la même apparence pour toutes les positions de ligne et les valeurs sont comparables.



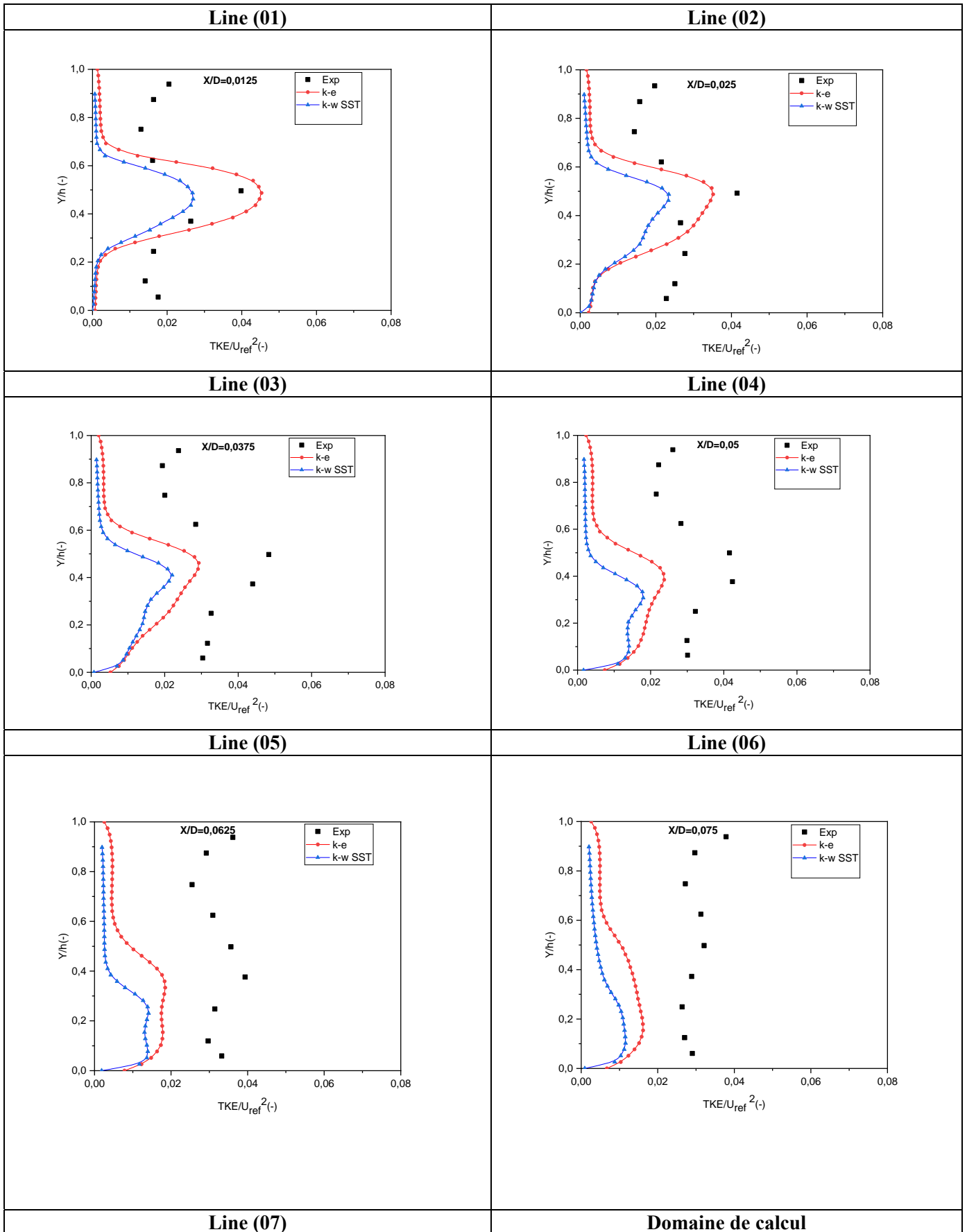
## Chapitre 04 : Résultats et discussion



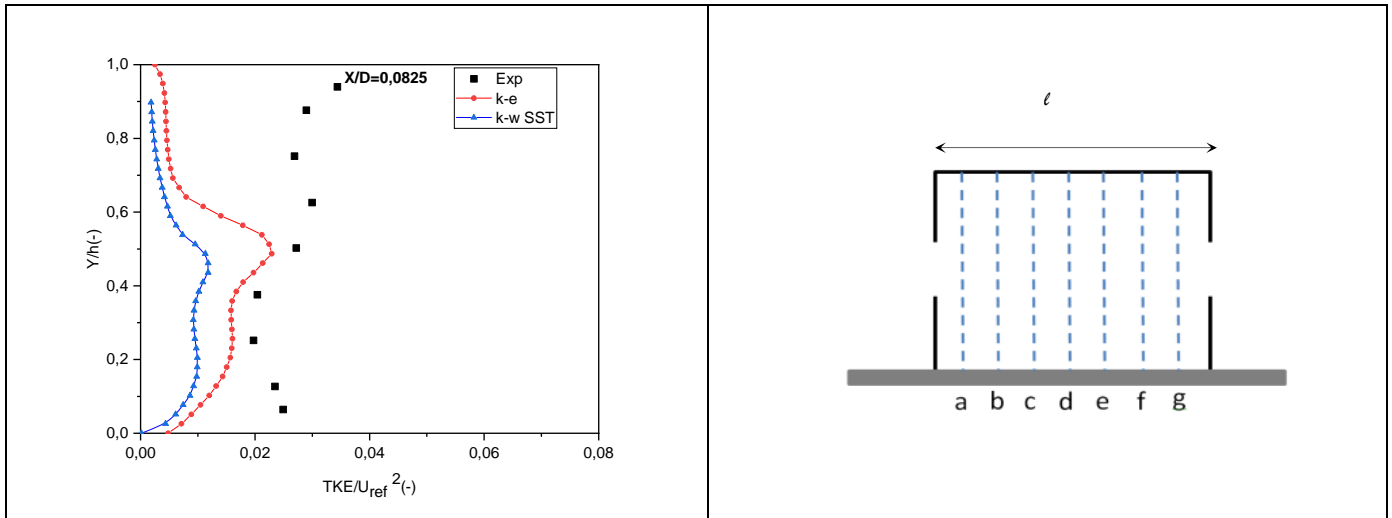
**Figure 4.8:** Comparaison des profils de vitesse entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans sept lignes avec les résultats expérimentaux ; (01)  $x/l= 0.0125$  m, (02)  $x/l=0.025$  m, (03)  $x/l=0.0375$  m, (04)  $x/l=-0.05$  m, (05)  $x/l=0.0625$  m, (06)  $x/l=0.075$  et (7)  $x/l= 0.0875$ .

La figure 4.9 fournit une comparaison de l'énergie cinétique turbulente sans dimension ( $TKE/U_{ref}^2$ ) le long de sept positions sur le plan central du bâtiment, cette comparaison montre une sous-estimation de  $TKE/U_{ref}^2$  en particulier au-dessous et au-dessus de la région du jet (la région centrale), cela peut être dû à l'incapacité des modèles RANS tels que k- $\omega$  SST dans leur modélisation des caractéristiques d'écoulement transitoire sur le modèle d'écoulement résolu. Notez que dans la région du jet où les phénomènes de transition ne sont pas majoritaires et où le flux est caractérisé par une direction principale, les valeurs de l'énergie cinétique turbulente atteignent les mesures correspondantes et cela montre un bon accord, en particulier aux positions de la première ligne ( $x/l$  égal à 0,0125, 0,025, 0,0375 et 0,05).

# Chapitre 04 : Résultats et discussion



## Chapitre 04 : Résultats et discussion



**Figure 4.9:** Comparaison des profils de l'énergie cinétique turbulent (TKE) entre les modèles de turbulences k-e et k-w dans sept lignes avec les résultats expérimentaux ; (01)  $x/l= 0.0125$  m, (02)  $x/l=0.025$  m, (03)  $x/l=0.0375$  m, (04)  $x/l=0.05$  m, (05)  $x/l=0.0625$  m, (06)  $x/l=0.075$  et (7)  $x/l=0.0875$ .

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Une ventilation efficace de l'air nécessite la connaissance de l'interaction complexe entre le comportement dynamique et les paramètres thermiques. Pour un bâtiment isolé, l'estimation exacte de l'interaction entre la dynamique du flux de ventilation croisée. Nous avons présenté dans cette étude une comparaison entre résultat numérique avec le modèle k-e et k-w et les mesures en une soufflerie. L'analyse montre que les résultats pour l'écoulement moyen, reflètent assez bien la réalité physique. On note cependant que l'énergie cinétique de turbulence est sous estimées par rapport aux valeurs mesurées en soufflerie.

Dans ce mémoire porte sur l'étude une comparaison entre résultats numériques avec le modèle k-e et k-w et les mesures en une soufflerie. La modélisation mathématique de ce problème physique est basée sur les équations de conservation de masse et de la quantité de mouvement. Des hypothèses simplificatrices ont été introduites et justifiées afin de simplifier le système des équations utilisées pour la configuration étudiée : Ventilation croisée du bâtiment a travers deux ouvertures. La résolution numérique de ce dernier est effectuée par la méthode des volumes finis et la simulation numérique a été effectuée avec deux logiciel ANSYS ICEM CFD et ANSYS CFX. L'examen des résultats en 3-D peuvent être résumés comme suit :

La validation des résultats dynamiques de la ventilation croisée avec les résultats expérimentaux de Tominaga et al. Le modèle k-e et k- $\omega$  SST utilisé dans la simulation numérique montre une surestimation de la composante de vitesse horizontale dans la région du jet. Au contraire, dans le reste du domaine de la simulation, cette approche fournit un bon accord en fonction des mesures correspondantes. Ainsi, la partie dynamique de cette étude a été validée avec succès, bien que ce modèle ait montré une faiblesse dans la détermination de l'énergie cinétique turbulente pour le même cas par une surestimation de l'énergie cinétique turbulente dans le domaine presque interne du bâtiment, qui se retrouve également dans d'autres études.

**Référence bibliographie :**

**Référence bibliographie :**

[1] **CHU Chia-Ren et autres**, Wind- driven cross ventilation in long buildings, Building and Environnement, DOI : 10.1016/j.buildenv.2014.05.017 (2014).

[2] **YOSHIHIDE Tominaga et autres**, Wind tunnel experiments on cross ventilation flow of a generic building with contaminant dispersion in unsheltered and sheltered conditions, Building and Environnement, Volume : 92 (2015) 452-461.

[3] **KATARINA Kosutova et autres**, CFD analysis ventilative cooling in a generic isolated building equipped with ventilation louvers, Healthy Buildings Europe, 2015 (18-20 May 2015 Eindhoven, the Netherlands), (2015).

[4] **MOHAMMADREZA Shirzadi and autres**, Wind tunnel experiments on cross-ventilation flow of a generic sheltered buildings in urban area, Building and Environnement, Volume : 158 (2019) 60-72.

[5] **MOHAMMADREZA Shirzadi and autres**, Experimental and steady-RANS CFD modelling of cross-ventilation in moderately-dense urban area, Sustainable Cities and Society, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101849> (2019).

[6] **Karava Panagiota et les autres**, Air flow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements, Building and Environment. Volume 46 (2011) 266-279.