RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

Université YAHIA FARES DE MÉDÉA

Faculté de la Technologie

Département de Génie des procédés et environnement

Mémoire de Fin d'Etudes

Pour l'Obtention du Diplôme de

Master

Filiere : *Hygiène et sécurité industrielle*

Option :*Hygiène et sécurité industrielle*

THEME

Etude de dispersion d'un gaz toxique dans l'atmosphère dans un milieu urbain

Encadré par :

Dr. HADIDI Noureddine

Dr. REBHI Redha

Présenté par :

MEGHSEL Selma

MEGHSEL Samira

2019-2020

ملخص:

ترتكز دراستنا على انتشار غاز سام في منطقة حضرية ، من خلال هذه الدراسة قدمنا لمحة عامة عن الانبعاثات المختلفة والظروف والعوامل التي تؤثر على انتشارها في الغلاف الجوي وكذلك تأثيرها على المنطقة المذكورة.

استخدمنا برنامج ANSYS-CFX لمحاكاة انتشار غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي تم اختياره كنموذج غاز ملوث في هذا البحث في الغلاف الجوي عبر المنطقة الحضرية لعوامل جوية مختلفة. .

الكلمات المفتاحية: انتشار الغاز - المناطق الحضرية - الملوثات الغازية – CO_2 - برنامج ANSYS

Summary

Our study concerns the dispersion of a toxic gas in an urban area, through this study we gave an overview on the different emissions, the conditions and the factors affecting their diffusion in the atmosphere as well as their impact on said area.

We used the ANSYS-CFX software for the simulation of the dispersion of this Carbon dioxide gas (CO_2) which was chosen as a polluting gas model in this investigation into the atmosphere via the urban area for different meteorological factors.

Key-words: gas dispersion - urban areas - CO_2 - ANSYS program.

Résumé

Notre étude porte sur la dispersion d'un gaz toxique dans une zone urbaine, a travers cette étude nous avons donné un aperçu sur les différentes émissions, les conditions et les facteurs affectent leur diffusion dans l'atmosphère ainsi leur impact sur ladite zone.

Nous avons utilisé le logiciel ANSYS-CFX pour la simulation de la dispersion de cette gaz de dioxyde de Carbone (CO_2) qu' a été choisi comme un modèle de gaz polluant dans cette investigation dans l'atmosphère via la zone urbaine pour des différents facteurs météorologique.

Mots –clés : la dispersion d'un gaz- une zone urbaine- CO_2- le logiciel ANSYS.

Liste des figures .

Figure I-1 : L'éruption du volcan islandais Eyjafjöll 15 Avril 2010……4

Figure I-2 : Emission de GES d'origine agricole au canada en 2011……..5

Figure I-3 : Les émissions industrielles de CO2 ont baissé de 8,7 % en 2019 dans l'Union européenne……...5

Figure I-4 : Trafic routier à Shanghai……..6

Figure I-5 : Pourcentage d'émission des principaux polluants par secteur en 2008……..11

Figure I-6 : structure de la couche limite atmosphérique……....15

Figure I-7 : Structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inferieurs à 3m ……....16

Figure II-1 : Modele Phusique les differents cas de probleme étudie…….20

Figure III-1 : Organigramme général de calcul du code ANSYS-CFX……31

Figure III-2 : Les principaux modules de l'ANSYS-CFX……32

Figure III-3 : Module Design-Modeler…….…….32

Figure III-4 : Module Mesh-Meshing……....33

Figure III-5 : Maillage structuré et non structuré……..34

Figure III-6 : Maillage hybride……..35

Figure III-7 : Différents éléments de maillage……...35

Figure III-8 : Module CFX-Pre……..37

Figure III-9 : CFX-Solver……..37

Figure III-10 : Module CFX-Post……....38

Figure IV-1 : La source loin de première bloc avec une distance de 4 mètre……39

Figure IV-2 : Contours de la variation de la fraction volumique pour x=4m……40

Figure IV-3 : Contours de la variation de la température pour x=4m……41

Figure IV-4 : Les lignes de courant pour x=4m……41

Figure IV-5 : La source loin de première bloc avec une distance de 8 mètre……42

Figure IV-6 : contours de la variation de la température pour x=8m……43

Figure IV- 7 : Contours de la variation de la température pour x=8m……43

Figure IV-8 : Les lignes de courant pour x=8m……44

Figure IV-9 : La source loin de première bloc avec une distance de 16 mètre…..44

Figure IV-10 : contours de la variation de la fraction volumique pour x=16m…...45

Figure IV-11 : Contours de la variation de la température pour x=16m……..46

Figure IV-12 : Les lignes de courant pour x=16m……..…47

Figure IV-13 : La source est entre les deux blocs……...….47
Figure IV-14 : Contours de la variation de la fraction volumique dont la source est située entre les blocs…….48
Figure IV-15 : Contours de la variation de la température dont la source est situé entre les blocs……..…….49
Figure IV-16 : Les lignes de courant dont la source est située entre les blocs…….49
Figure IV-17 : L'évolution de la fraction volumique en fonction de la hauteur y pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs)……...50
Figure IV- 18 : L'évolution de la température en fonction de la hauteur *y* pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs)…….50
Figure IV- 19 : L'évolution de la vitesse u en fonction de la hauteur *y* pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs)…….51
Figure IV-20 L'évolution de la vitesse v en fonction de la hauteur *y* pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs)…….51

Listes des tables

Tableau I-1 : la composition de l'air…….6

Tableau I-2 : Evolution des émissions de quelques polluants de l'air en France (en kilotonne par an) et plafond d'émission 2010 fixé par la directive européenne 2001/81/CE……..….14

Tableau II-1 : valeurs des constants du modèle k-ε……...29

Tableau II-2 constantes du modèle RNG k-ε……...……29

Nomenclatures

$\vec{U}$:	*Le vecteur vitesse du fluide*
S_M :	*Le terme source de masse*
$\vec{\tau}$:	*Le tenseur de stress visqueux*
$\vec{f}$:	*La forces massiques s'exerçant dans le fluide (unité SI: $N \cdot kg^{-1}$)*
δ:	*La matrice identité*
Ux :	*La composante de la vitesse dans la direction $\hat{x}$, et ainsi de suite pour Uy et Uz.*
t :	*Le temps (unité SI :s)*
ρ :	*La masse volumique de fluide(unité SI : $kg \cdot m^{-3}$)*
$\vec{v} =$	*La vitesse eulérienne d'une particule fluide (unité SI : $m \cdot s^{-1}$)*
(v_1,v_2,v_3) :	
P :	*La pression (unité SI : Pa)*
$\overline{\tau}$:	*Le tenseur des contraintes visqueuses (unité SI : Pa)*
$\bar{\bar{I}}$:	*La viscosité de volume du fluide ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)*
e :	*L'énergie totale par unité de masse (unité SI : $J \cdot kg^{-1}$)*
$\vec{q}$:	*Le flux de chaleur perdu par conduction thermique (unité SI : $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)*
r :	*La perte de chaleur volumique due au rayonnement (unité SI : $J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$)*
M :	*la viscosité dynamique (unité Pa. s)*
η :	*La viscosité de volume du fluide (unité SI : Po)*
λ:	*la conductivité thermique du fluide (unité SI : $W.K^{-1}.m^{-1}$)*
T :	*La température (unité SI : K)*
ν :	*La viscosité cinématique du fluide (unité SI : $m^2.s^{-1}$)*
$(\vec{v}.\vec{\nabla})\vec{v}$:	*le terme de convection*
μ_t :	*La Viscosité turbulente (unité $kg.m^{-1}s^{-1}$)*
s_{ij} :	*Le tenseur de Reynolds*
K :	*L'énergie cinétique turbulente (unité $m^2.s^{-2}$).*
ε :	*Le taux de dissipation de l'énergie cinétique k (unité $m^2.s^{-3}$)*
$C_\mu, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$:	*Coefficient de modèle k-ε*

Abréviation

CFD : *Computational Fluid dynamics .*

CLA : *La couche limite atmosphérique*

CLU : *La couche limite urbaine .*

GES : *Gaz à effet de serre.*

PPRT : *Plans de Prévention des Risques Technologiques.*

RNG : *Renormalization Group (theory used with k epsilon turbulence).*

Remerciements

Nous adressons en premier lieu nos remerciements les plus sincères a ALLAH le tout puissant qui nous a donné la chance ,la santé ,le courage, la patience nécessaire pour terminer ce travail et qui nous a guidé vers le savoir .

Nous remercions du fond de cœurs nos chers parents de tout ce qu'ils faisaient pour nous.

Nous tenons à exprimer nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect a nos promoteurs Dr. HADDIDI Nourddine et Dr. REBHI Reda, pour ces suivis, ces précieux conseils et encouragements qu'ils nous a donné à notre travail.

Nous exprimons nos remerciements les plus dévoués aux membres de jury qui nous ont honorées en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous voudrions exprimer notre gratitude à tout le personnel de l'université YAHIA FARES de Médéa, en particulier au corps administratifs les enseignants du départements de génie procédé et environnement, spécialité de hygiène et sécurité industrielle

Enfin nous tenons à adresser nos vifs remerciement à tous ceux qui nous ont offert un soutien et une aide dans ce travail .

Grand merci a tous !!

Dédicace

Avant tout , je me prosterne devant le tout puissant ***ALLAH*** *de m'avoir donné la force et la volonté pour réaliser ce travail.*

Je dédie ce modeste travail :

A mon père , à ma mère qui ont été et sont toujours pour moi un exemple de bonté et d'honnêteté , en guise de faible témoignage pour leur immense aide morale et matérielle , qu'ils trouvent ici l'expressions de toute mon affection , de ma, pour la sollicitude jamais démentie qu'ils ont manifesté à mon égard .

A mon chère cousin ***Maramizo*** *.*

A mes frères ***Abdelha****k et* ***Mohamed*** *, A ma petite sœur* ***Aya*** *.*

A ma chère Tante ***Zehour .***

*A toute ma famille : mes grand parents (mon grand père ALLAH YARHMOU) . mes cousins et mes cousines****(sara****,* ***Hiba****,* ***asmaa,F zahra,Imen*** *.) mes oncles et mes tantes .*

A mon binôme : mon amie intime ***Samira*** *.*

A toutes les personnes que j'ai connues , en particulier mes amis : ***Affef , Nabila , khadidja*** *, A tout mes amis du groupe HSI .*

A tous mes enseignants et enseignantes depuis ma carrière universitaire .

Selma

Dédicace

Avant tout , je me prosterne devant le tout puissant ***ALLAH*** *de m'avoir donné la force et la volonté pour réaliser ce travail.*

Je dédie ce modeste travail :

A mon père , à ma mère qui ont été et sont toujours pour moi un exemple de bonté et d'honnêteté , en guise de faible témoignage pour leur immense aide morale et matérielle , qu'ils trouvent ici l'expressions de toute mon affection , de ma gratitude , pour la sollicitude jamais démentie qu'ils ont manifesté à mon égard .

A mon chère cousin ***Maramizo*** *.*

A mes sœurs ***Imen , Hiba*** *. A mon frère* ***Mohamed*** *, sa femme* ***waff****a et son fils* ***Racim*** *.*

A ma grande sœur ***Fatima*** *et son marie* ***Sami****r et ses petits :****Ishak*** *et* ***Anes .***

A ma chère Tante ***Zehou****r .*

A toute ma famille : mes grand parents (mon grand père ALLAH YARHMOU) . mes cousins et mes cousines. mes oncles et mes tantes .

A mon binôme : mon amie intime ***Selma*** *.*

A toutes les personnes que j'ai connues , en particulier mes amis : ***Affef ,Nabila , Meriem*** *A tout mes amis du groupe HSI .*

A tous mes enseignants et enseignantes depuis ma carrière universitaire .

Samira

Table des matières

Résumé .

Remerciement .

Liste des tables .

Liste des figures .

Nomenclatures .

Introduction générale …….. 1

Chapitre I : Généralité

I.1 Introduction…….. 3

I.2.La pollutions atmosphérique……. 3

I.2.1..Les sources de pollution …….. 3

I.21.1.Les émissions naturelles…….. 4

I.2.1.2. Les émissions d'origine agricole……... 5

I.2.1.3. Les émissions industrielles……. 5

I.2.1.4. Les émissions domestiques……. 6

I.2.1.5. Les émissions dues aux traitements des déchets…….. 6

I.2.2. La composition de l'air …….. 6

I.3 . Les polluants ……... 7

I.3.1. les principaux polluants …….. 7

I.3.2.Emissions des polluants …….. 10

I.3.2.1.Sources ponctuelles …….. 10

I.3.2.2. Source surfaciques …….. 10

I.3.2.3.Sources mobiles …… 10

I.3.2.4 Source naturelles …….. 10

I.3.3.Dispersion de polluants ……... 11

I.3.3.1.Les conditions météorologiques …….. 11

I.4.Cadre réglementaire du contrôle des rejets dans l'air …….. 12

I.4.1.La limitation des rejets de polluants …… 12

I.4.2. La surveillance des rejets.……. 12

I.4.3. La déclaration annuelle des rejets polluants..... 13

I.4.4. Politique de gestion des risques industriels.……. 14

I.5. La structure de l'atmosphère…….. 15
I.5.1. La couche limite atmosphérique……. 15
I.5.2.La couche limite urbaine…….. 16
I.5.3.Influence de la structure urbaine…….. 17
I.5.3.1. Effets dynamiques …… 17
I.5.3.2. Effets thermiques …….. 17
I.5.3.3. Effets sur la dispersion ……. 17

Chapitre II : Modèle physique et formulation mathématique .

II.1 Introduction……..... 18
II.2.modèle physique ……. 18
II.3.Formulation mathématique ……. 19
II.3.1.Les équations de Navier-Stokes incompressibles …… 19
II.3.2.Fluide Newtonien ,hypothèse de stokes. ……... 24
II.3.3.Expression pour les écoulements de fluides compressibles……... 25
II.3.4.Expression pour les écoulements de fluides incompressible..... 26
II.3.4.1. Expression en coordonnées cartésiennes (x, y, z)…….. 26
II.3.4.2. Expression en coordonnées cylindriques (r, ∅ ,z)…… 27
II.4. La turbulence ……..……. 27
II.4.1.Les effets de la turbulence …… 28
II.4.2. Les modèles turbulences.....……. 28
II.4.2.1.Le modèle **k-ε** ……..…….. 28
II.4.2.2.Le modèle RNG k-ε……...……. 29

Chapitre III : Présentation de code ANSYS-CFX

III.1 Introduction …… 30
III.2 Présentation de code ANSYS-CFX …….. 30
III.3 Les principaux modules du logiciel ANSYS-CFX ……..... *32*
III.3.1 Module de géométrie (design Modeler) ……. *32*
III.3.2 Module de génération de maillage ……. *33*
III.3.2.1 Les types de maillage …… *33*
III.3.2.2 Les types des éléments de maillage ……..... *35*
III.3.3 Module CFX-Pre …….. *35*

III.3.3.1 Les conditions aux limites……..... *36*
III.3.3.2 Control du calcul ……….**…..** *36*
III.3.3.3.Matériel …… *36*
III.3.4.Module CFX-Solver …….. *37*
III.3.5. Module CFX-Post ……..... *38*

Chapitre VI :Résultats et interprétations .

IV.1.Introduction..... *39*
IV.2.Interprétations des résultats……. *39*
Cas :1
IV.2.1.Evolution de la fraction volumique (CO_2)……..……. *39*
IV.2.2.Evolution de la température ……...…….. *40*
IV.2.3. Evolution de la vitesse ……..……. *41*
Cas :2
IV.2.4.Evolution de la fraction volumique (CO_2) ……. *42*
IV.2.5.Evolution de la température …….. *43*
IV.2.6.Evolution de la vitesse ……..... *44*
Cas :3
IV.2.7.Evolution de la fraction volumique (CO_2) ……. *45*
IV.2.8.Evolution de la température ……..... *46*
IV.2.9.Evolution de la vitesse) …….. *46*
Cas :4
IV.2.10.Evolution de la fraction volumique (CO_2) ……... *47*
IV.2.11.Evolution de la température…… *48*
IV.2.12.Evolution de la vitesse) ……... *49*
Conclusion ……..... *52*
Bibliographie …….. *54*

Introduction Générale

Introduction générale

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

Des quantités croissantes de gaz et de particules potentiellement nuisibles sont émises dans l'atmosphère et entraînent des dommages à la santé humaine et à l'environnement. Elles endommagent également, à long terme, les ressources nécessaires au développement durable de la planète.

Le danger relatif, présenté par les différents polluants gazeux et particulaires pour la santé, varie avec la concentration de ces polluants dans le temps et dans l'espace, et ainsi les effets sur la santé de ces polluants peuvent varier d'un pays à l'autre. En conséquence, la surveillance continue, soignée et attentive des concentrations est nécessaire avant qu'une estimation inacceptable des effets soit faite. La situation est encore plus compliquée car certaines combinaisons de polluants ont des effets cumulatifs et parfois synergétiques.

Dans les zones urbaines , les mesures de routine de la pollution de l'air sont ponctuelles et souvent effectuées en quelques points distancés ne recouvrant pas toute la zone urbaine .Elles sont réparties à l'intérieur des rues , à proximité des intersections. Ces concentrations mesurées dépendent très fortement des conditions locales et sont assez peu représentatives des conditions de l'ensemble de l'agglomération, du quartier ou de la rue.

La modélisation numérique repose sur une résolution approchée des équations du problème par des méthodes numériques. Cette approche est aujourd'hui répandue dans toutes les disciplines scientifiques et son développement est associé à l'évolution technologique de l'informatique et des techniques numériques. La simulation numérique de la mécanique des fluides, en particulier la modélisation de la turbulence. [1]

Ainsi , la modélisation statistique est une approche qui ne permet pas de représenter finement les caractéristiques de la turbulence. Cependant, elle s'avère souvent être un bon outil pour l'étude des champs moyens.

De nombreux auteurs ont appliqué ce type de modélisation pour étudier l'écoulement de l'air et la dispersion des polluants autours des bâtiments de différents formes, placé dans la couche limites atmosphérique (Murakami et Mochida 1988 ; Zhang 1991 ; Flower et Kumar 1995) .

C'est pourquoi nous avons retenu cette approche pour étudier la dispersion des polluants dans les milieux urbaine. Par ailleurs, le code de calcul ANSYS CFX sera utilisé dans cette étude. [1]

Le mémoire présenté comporte, après une introduction, quatre chapitre répartis comme suite :

- Le premier chapitre *:* expose la pollution en milieu urbain tout en décrivant les aspects théoriques sur la structure de la couche limite atmosphérique urbaine . Ceci est illustré par le rôle des principaux polluants atmosphériques et leurs effets sur la santé humaine, ainsi que les mesures à prendre afin de réduire les émissions.
- Le deuxième chapitre : nous faire une formulation mathématique des équations de Navier-stokes qui régissent le mouvement turbulence
- Le troisième chapitre : on présente le code ANSYS utilisé dans notre travail ,
- Quatrième chapitre : Les résultats obtenus , ainsi que leur interprétations sont présentés dans ce chapitre .

Enfin, nous avons terminé notre étude par une conclusion générale.

Chapitre I : généralité

I.1 Introduction :

Ce chapitre présent de manière succincte la problématique de la pollution atmosphérique afin de dessiner le cadre dans lequel s'instaurera plus tard ce travail de recherche. Après avoir mis l'accent sur quelques généralités concernant cette pollution atmosphérique, on présentera les différentes sources d'émissions ainsi que les principaux polluants, et les conditions de sa dispersion.

I.2 La pollution atmosphérique :

De part sa nature complexe, la pollution atmosphérique fait l'objet, suivant les pays et parfois suivant les divers organismes qui en ont la charge dans un même pays, de plusieurs définitions différentes. Certaines reposent sur le principe que toute modification de la composition normale de l'air est une pollution atmosphérique, d'autres y ajoutent des notions de gênes ou de nocivité dues aux composés anormaux qui ont modifié cette composition. De même, la présence de polluants d'origine naturelle (volcans, érosion,…) peut, selon certains organismes être considérée comme une pollution atmosphérique tandis que d'autres préfèrent ne parler que de polluants liés à l'activité humaine. Deux définitions officielles résument ces différentes nuances :

"Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne.[2]

"L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives".[3]

I.2.1 Les sources de pollution :

Les sources de pollution sont soit d'origine naturelle, soit d'origine anthropique et peuvent être de différentes natures suivant la manière dont elles polluent l'atmosphère. Les rejets de polluants peuvent être accidentels lorsque la source émet de manière violente et instantanée, entrainant alors des conséquences dramatiques et souvent mortelles (accidents de Seveso,

Bhopal, Tchernobyl, …) ou chroniques lorsque les émissions de polluants sont de moindre quantité mais répétées Dans ce cas, les conséquences sont moins immédiates et spectaculaires que pour un rejet accidentel, mais l'impact sur l'environnement et la société est loin d'être négligeable.

Les principales sources de pollution atmosphérique sont les suivantes :

I.2.1.1 Les émissions naturelles :

Certains polluants atmosphériques sont d'origine naturelle. Ce sont essentiellement le dioxyde de soufre (SO2) et le dioxyde d'azote (NO2). Ces composés proviennent principalement des éruptions volcaniques, des décompositions organiques, des feux de forêt, ainsi que des océans. Des particules en suspension sont également présentes dans l'atmosphère du fait du volcanisme, du transport de poussières en provenance des déserts (le Sahara par exemple) ou de l'érosion éolienne des sols. On peut aussi citer dans les sources naturelles de pollution les végétaux, dont le cycle de vie produit de nombreux composés toxiques (H2S, CH4, COV) ou allergisants tel que le pollen. Finalement, le radon, gaz radioactif issu de la chaîne de désintégration radioactive de l'uranium présent dans certains sols et roches, représente également une forte source de pollution à l'intérieur des habitations .



Figure 1.1: L'éruption du volcan islandais Eyjafjöll 15 Avril 2010 [4].

I.2.1.2 Les émissions d'origine agricole :

le développement de l'agriculture intensive contribue à la pollution atmosphérique. Ses émissions (essentiellement l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les pesticides) sont liées à la décomposition des matières organiques, aux animaux d'élevage et à l'utilisation massive d'engrais et de pesticides .

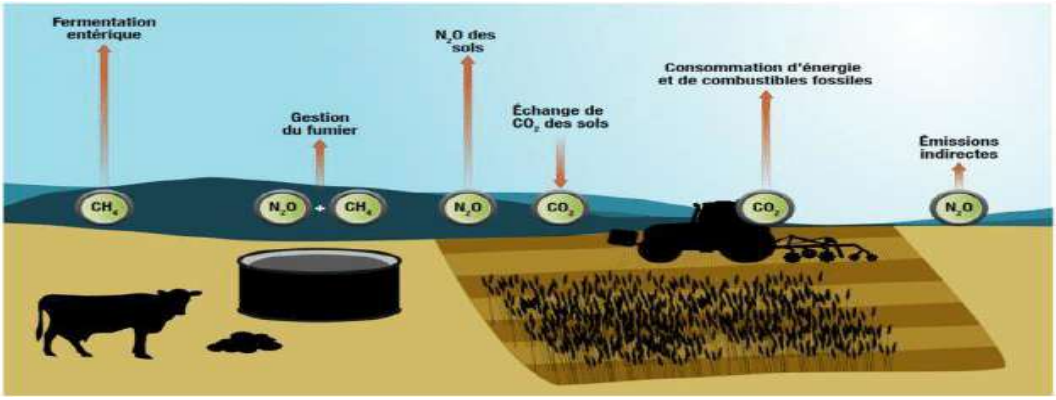


FIGURE I-2 : Émissions de GES d'origine agricole au Canada en 2011

I.2.1.3 Les émissions industrielles :

l'industrie est à l'origine des émissions spécifiques dues aux processus de traitement ou de fabrication employés. En quantités variables, selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de souffre, d'oxyde d'azote, de poussières, de composés organiques volatils (COV), etc. Les secteurs qui rejettent les quantités les plus importantes sont la production d'énergie (centrales thermiques), les industries chimique, pétrolière et métallurgique, les incinérateurs d'ordures ménagères. L'industrie est également à l'origine de la majeure partie des rejets accidentels.



Figure I-3 : Les émissions industrielles de CO2 ont baissé de 8,7 % en 2019 dans l'union européenne.

I.2.1.4 Les émissions domestiques :

Au niveau individuel ou tertiaire (chauffage des logements ou des bureaux), la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, etc.) produit d'importantes émissions polluantes. Le dioxyde de carbone (CO2), produit inévitable de la combustion de matières organiques et dont la concentration croissante dans l'atmosphère contribue à l'effet de serre, le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO2), les oxydes d'azotes (NOx), les poussières, les métaux lourds, etc.



Figure 1-4 Trafic routier à Shanghai.

I.2.1.5 Les émissions dues aux traitements des déchets :

Ils sont à l'origine de plusieurs types de polluants, parmi lesquels : le méthane (abondamment dégagé par la décomposition des matières organiques, il contribue fortement à l'effet de serre), l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes qui sont produits par l'incinération des déchets industriels et ménagers.

I.2.2 La composition de l'air :

L'air est composé en volume d'environ 78 p.100 d'azote , 21p.100 d'oxygène et 1p.100 d'autres gaz .

Le tableau suivant résume la composition de l'air sec :

Gaz	Pourcentage d'un volume d'air sec (%)
Azote (N2)	78.09
Oxygène (O2)	20.95
Argan (Ar)	0.93
Dioxyde de carbone (CO2)	344 ppm
Néon (Ne)	18 ppm
Hélium (He)	5 ppm
Krypton (Kr)	1 ppm
Hydrogène (H2O)	0.5 ppm
Xénon (Xe)	0.08 ppm
Ozone (O3)	0.02 ppm

Ppm : partie par million

Tab I-1 : la composition de l'air

L'atmosphère contient également des aérosols qui se composent de particules liquides et solides en suspension . Ces particules peuvent être :

- ✓ Viables : pollens, bactéries ,champignons ;
- ✓ Non viables : sables fines et autres poussières de sol, poussières volcaniques ;
- ✓ Générées sous l'action du rayonnement, de la chaleur et de l'humidité .

I.3 Les polluants :

I.3.1 les principaux polluants :

Ils peuvent être gazeux ou solides .leur présence modifié la caractéristique physico-chimique de l'atmosphère, origine de la pollution.

La nocivité des déférents substances est liée soit a leur caractéristique intrinsèque soit a celles de substances adsorbées.

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes : les polluants primaires et les polluants secondaires.

Les polluants primaires parmi lesquels le monoxyde de carbone (CO) , le dioxyde de carbone (CO2) , et les poussières sont émis dans les plus grandes quantités et surtout sont les mieux connus.

Les polluants secondaires tel que l'ozone (O3) résultent de la transformation par photochimie de plusieurs polluants dont principalement les oxydes d'azote et les hydrocarbures .La formation de polluants secondaires nécessite un certain temps durant lequel les masses d'air ce déplacent .ce qui explique pourquoi les points de polluants secondaire concernent des territoires souvent plus étendu que les points de polluants primaires.

Polluants	**Définition**	**Origine**	**Effets sur la santé et l'environnement**
OZONE (O3)	L'ozone est un gaz dont les molécules sont formées de trois atomes d'oxygène ,il est instable et réagit facilement avec d'autre gaz .On le trouve a l'état naturel a plusieurs niveaux de l'atmosphère . C'est un polluant qui peut voyager loin selon les conditions météorologique.	✓ Action de rayonnement ultraviolet sur l'oxygène en présence de NOx et COV ✓ Des activités humaines comme le transport ,les industries ou le chauffage .	✓ Irritation de muqueuses des yeux et des voies respiratoire . ✓ Provoquer un affaiblissement des mécanisme de défense et par conséquent une augmentation des infections . ✓ Causer des dommages à la végétation .

Le MONOXYDE DE CARBON (CO)	Est un gaz incolore ,Indore et insipide .Il peut se transformer en dioxyde de carbone (CO2) .L'un de plus importants gaz a effet d serre	✓ Le transport (+de 75%) ✓ Le secteur industriel (+ de 13%) ✓ Le chauffage au bois (+ de 10%)	✓ Formation de carboxyhémoglobine dans le sang ✓ Polluant toxique
Le DIOXYDE DE CARBONE (CO2)	Incolore et inodore il est présent dans nos foyers du fait de la mauvaise évacuation des produits de combustion	✓ Combustion de produit fossiles	✓ Pas d'effet aux tenures atmosphérique usuelles .
LE DIOXYDE D'AZOTE (NO2)	Est un gaz irritant en effet à haute température , l'azote et l'oxygène de l'air se combinant pour former de monoxyde d'azote (NO) .Ce dernier ce transformer plus ou moins rapidement en NO2.	✓ Combustion (+ de 10%) ✓ Les transports (+ de 80%)	✓ Irritation de muqueuses , des yeux et des voies respiratoires ✓ Altération de la fonction respiratoire (NO2) plus toxiques que NO)

I.3.2 Emission des polluants :

On classe généralement les émissions de polluants en différentes catégories selon le type de la source .Cette dernière peut être ponctuelle , surfacique ,mobile ou naturelle.

I.3.2.1 Sources ponctuelles :

Ce sont des sources identifiables qui émettent une quantité de polluants dans l'atmosphère supérieure à une valeur limite définie par les autorités locales ou les agences pour l'environnement .Ce sont typiquement les grandes usines possédant une ou plusieurs cheminées d'évacuation .la quantité de polluants émise peut être globalisée sur une années ou bien plus détaillée en fonction de l'activité de l'usine.

I.3.2.2 Source surfaciques :

Ce sont des sources plus petites que les précédentes en termes d'émission individuelle mais dont le nombre est le nombre est plus abondant sur une zone donnée.

On y retrouve typiquement le chauffage domestique.les stations ou bien l'utilisation des pesticides.

I.3.2.3 Source mobiles :

Ce sont toutes les sources non stationnaires telles que les automobiles ,camions ,bus ,motos, avions ou trains.

I.3.2.4 Source naturelles :

Elles sont le produit de processus naturels de transformations des sols ou de la végétation . Elles proviennent aussi de la faune (ruminants, termites).

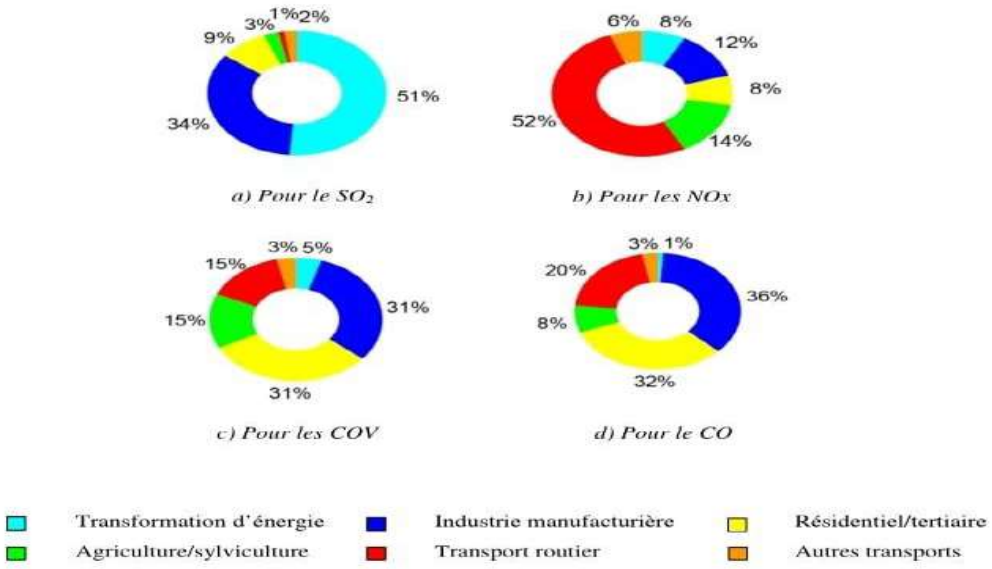


Figure I-5 : Pourcentage d'émission des principaux polluants par secteur en 2008

I.3.3 Dispersion de polluants :

La pollution affecte principalement la santé humaine. En effet, l'exposition à plusieurs substances indésirables simultanément augmente leurs effets nocifs. La pollution urbaine détériore aussi les bâtiments par corrosion et salissure.

Les concentrations en polluant dans l'atmosphère peuvent fluctuer dans le temps et dans l'espace selon les paramètres suivants :

- **variation dans le temps de l'intensité des émissions des différentes activités** : en hiver le chauffage est important, le trafic routier est quasiment nul la nuit …
- **la topographie locale peut favoriser ou non le déplacement des masses d'air ;**
- **les conditions météorologiques** : une atmosphère stable limite la dispersion des polluants et favorise les pics de pollution.

I.3.3.1 Les conditions météorologiques :

Les conditions météorologiques tiennent une part importante dans la dispersion des polluants atmosphériques :

- **Atmosphère instable** : dans de telles situations, la dispersion des polluants est facilitée. Ces situations apparaissent par fort réchauffement du sol. Elles se retrouvent principalement le jour en absence de vent fort.

- **Atmosphère neutre** : ces situations permettent la dispersion des polluants. Elles correspondent aux situations de vents modérés ou à des situations de ciel couvert. Il s'agit de la situation la plus fréquente en zone tempérée.
- **Atmosphère stabl**e : de telles situations freinent le déplacement des masses d'air. Elles sont induites par des inversions thermiques près du sol, ce qui limite la dispersion des polluants. Ces situations se retrouvent principalement la nuit par vent faible.

I.4 Cadre réglementaire du contrôle des rejets dans l'air .

Exemple de la France :

I.4.1 La limitation des rejets de polluants :

La prévention des pollutions atmosphériques est prise en compte, pour les établissements industriels, dans le cadre de la législation relative aux installations classées. La réduction des rejets dans l'air s'inscrit dans le cadre d'une analyse globale visant à réduire au maximum les émissions correspondantes tout en évitant tout transfert de pollution vers un autre milieu (approche intégrée) et en recourant aux meilleures technologies disponibles. Celles-ci sont souvent à la base des valeurs limites et des pratiques définies dans des arrêtés ministériels sectoriels (installation de combustion, usine d'incinération de déchets, etc.) ou par défaut dans l'arrêté ministériel du 2 février 1998. Cet arrêté relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau, ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations soumises à autorisation, définit les concentrations limites de rejets à l'atmosphère pour de nombreux polluants (SOx, NOx, HCl, poussières, COV).

C'est sur la base de ces arrêtés ministériels mais aussi des meilleures technologies disponibles que les prescriptions adaptées à chaque industriel sont rédigées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation.

I.4.2 La surveillance des rejets :

Les modalités de surveillance des principaux rejets sont également définies par l'arrêté ministériel du 2 février 1998. Le principe de base est de considérer que l'industriel est responsable du contrôle de qualité de ses rejets. Les plus gros pollueurs sont obligés à cette fin de surveiller régulièrement leurs effluents : c'est ce que l'on appelle l'autosurveillance. Plus précisément l'auto surveillance comprend :

- La prescription, par voie d'arrêté préfectoral, de la nature et de la fréquence des mesures à réaliser ;

- La réalisation par l'exploitant lui-même des mesures prescrites aux points de rejet indiqués suivant des normes de prélèvement et d'analyse des échantillons ;

- La communication régulière des résultats de mesure à l'inspection des installations classées ;

- Des analyses périodiques de contrôle, réalisées par un organisme extérieur agréé, qui permettent de confirmer les résultats de l'auto surveillance et de vérifier le bon fonctionnement des matériels d'analyse ;

- Des contrôles inopinés de rejets peuvent être réalisés par un organisme indépendant à la demande de l'inspection et aux frais de l'exploitant. L'auto surveillance permet ainsi une bonne connaissance des principaux rejets d'origine industrielle.

I.4.3 La déclaration annuelle des rejets polluants :

La déclaration annuelle des rejets polluants, instituée par l'arrêté ministériel du 24 décembre 2002 aujourd'hui abrogé et remplacé par celui du 31 janvier 2008, concerne en particulier les rejets dans l'air. Les installations concernées sont :

- Les installations de combustion dont la puissance thermique maximale est supérieure à 20 MW ;
- Les usines d'incinération d'ordure ménagères de capacité supérieure ou égale à $3t.h^{-1}$
- Les installations rejetant certains polluants (de type SO2, NOx, HCl, COV, CO2, etc.) au-delà d'un certain seuil ;

La meilleure manière d'améliorer la qualité de l'air consiste à agir sur les sources de pollution et, au niveau national, le ministère de l'environnement a adopté un programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Ce programme vise notamment à respecter la directive 2001/81/CE, fixant des plafonds d'émission pour quatre polluants dans chaque état membre d'ici 2010 (Tableau I-2). De nouveaux plafonds plus sévères sont également en discussion au sein de l'Union européenne pour fixer des objectifs pour 2020.

Année	1930	2003	Objectifs 2010
SO_2	3200	492	375
NO_x	1980	1220	810
COV	3000	1400	1050
NH_3	840	753	780

Tableau I-2 :Evolution des émissions de quelques polluants de l'air en France (en kilotonne par an) et plafond d'émission 2010 fixé par la directive européenne 2001/81/CE

I.4.4 Politique de gestion des risques industriels :

Aujourd'hui, la proximité de l'industrie et de la population a pour effet d'accroitre les conséquences d'un éventuel accident industriel. Il est donc important pour les pouvoirs publics d'engager une réflexion sur la répartition des populations près des sites industriels et de mettre en place des contraintes dans les plans d'occupation des sols pour éviter la présence humaine dans des zones à risque. Le risque industriel est alors défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière et à des contrôles réguliers. Ainsi une directive européenne dite Seveso ou directive 96/82/CE (officialisée en 1982) a été mise en place afin que les états membres de l'Union Européenne identifient les sites industriels présentant des risques d'accidents majeurs. Cette directive appliquée aux sites les plus dangereux impose donc aux exploitants diverses contraintes visant à minimiser l'exposition des populations aux risques industriels, et oblige les pouvoirs publics à limiter la constructibilité des zones proches des sites industriels.

La loi prévoit également l'élaboration de Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) pour ces sites industriels soumis à la directive Seveso. Ce PPRT est un outil réglementaire qui participe à la politique de prévention des risques industriels des établissements les plus dangereux en agissant sur la maîtrise des risques à la source par la mise en œuvre de mesures.

I.5 La structure de l'atmosphère

Les propriétés de l'atmosphère vont jouer un rôle plus ou moins moteur dans la dispersion d'un polluant.

Dans le cadre du risque accidentels , les phénomènes liés à la dispersion d'un polluant ne se produisent que dans la couche inférieure de l'atmosphère , dite couche limite atmosphérique CLA , de quelques centaines de mètres d'épaisseur (au plus 1à2 Km) dans la plupart des cas .

I.5.1 La couche limite atmosphérique

La couche limite atmosphérique (CLA) est la zone de l'atmosphère au voisinage du sol dans laquelle se répercute directement, par « viscosité », l'adhérence au sol de l'écoulement. Elle donne alors naissance à des couches cisaillées. D'un point de vue thermique, c'est la zone de l'atmosphère au voisinage de la surface terrestre dans laquelle la variation diurne du rayonnement solaire est directement perceptible. C'est dans cette zone que l'on retrouve les thermiques si chères aux passionnés de vol à voile, formées de grands rouleaux convectifs causés par le réchauffement de l'air au voisinage d'un sol chaud. La hauteur de la couche limite atmosphérique, qui varie en permanence dans le temps et dans l'espace, est comprise en moyenne entre 100 et 3000 mètres. La totalité de la troposphère est en fait influencée par la surface mais le temps de réponse de la CLA à des modifications des conditions à la surface est rapide, [5].

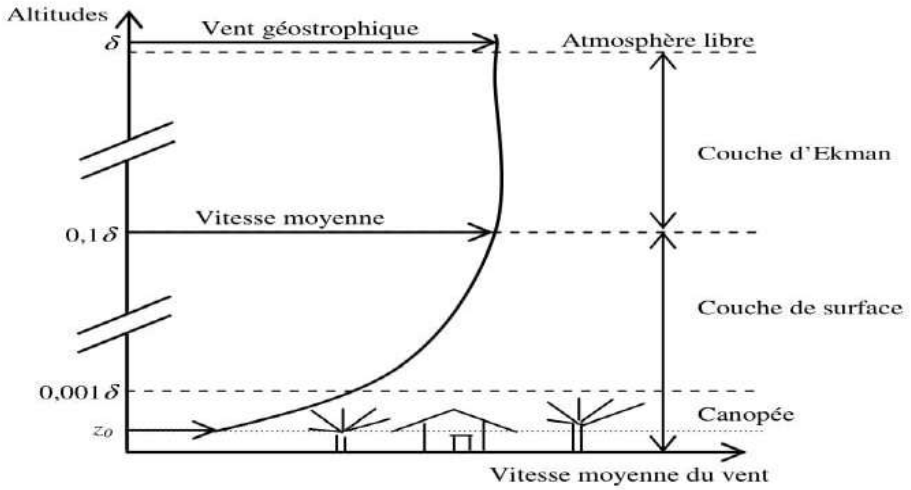


Figure I-6 : structure de la couche limite atmosphérique .

I.5.2 La couche limite urbaine

La couche limite urbaine (CLU) est un cas particulier de la couche limite atmosphérique. L'allure de la CLU varie en permanence entre deux extrêmes : par vent fort, celle classique d'une couche limite sur plaque plane [6] et par vent faible celle d'un dôme dominé par les effets thermiques.

C'est cette partie inférieure de l'atmosphère qui se rattache à la couche limite planétaire, dont les caractéristiques, notamment dans sa partie inférieure, sont particulièrement affectées par la présence de la ville. Cette couche peut avoir une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, et en conditions d'ilot de chaleur reste plus chaude que l'air situé au-dessus de la compagne. Sa hauteur dépend des paramètres de surface, de l'extension de la ville et des conditions atmosphériques. Quand cette couche est poussée par le vent à l'extérieur de la ville, elle donne naissance à ce qui est appelé le panache urbain. Elle est alors séparée de la surface par une couche influencée par les caractéristiques de la compagne. En revanche, lorsque le vent est faible, une bulle d'air chaud se forme, entre tenue par des cellules convectives d'air chaud; il s'agit du dôme urbain. Cette vision méso-échelle de l'atmosphère urbaine doit être complétée par une vision multi-échelle intégrant la canopée comme une couche de l'atmosphère urbaine et prenante en compte son hétérogénéité spatiale et structurelle.

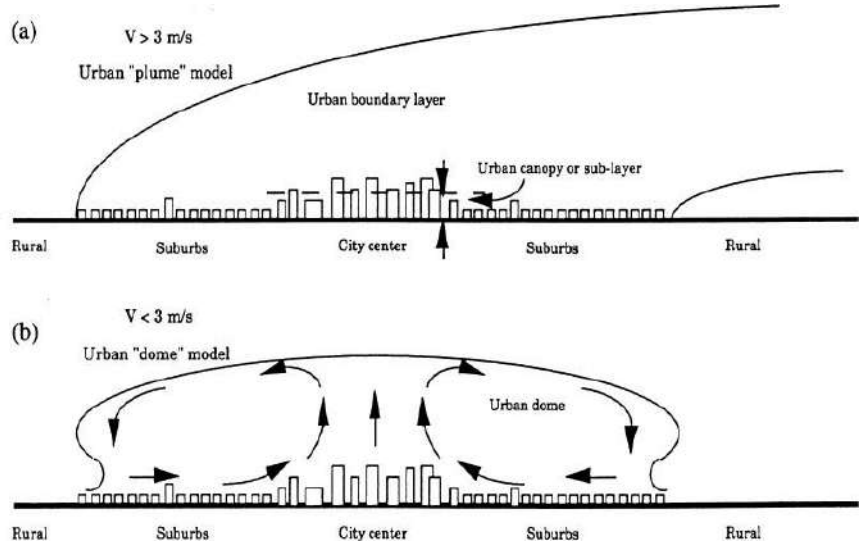


Figure I-7: Structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inferieurs à 3m/[6]

I.5.3 Influence de la structure urbaine .

A cause de son hétérogénéité, de la hauteur des obstacles et des différents matériaux qui la composent . La surface urbaine a une influence importante sur l'atmosphère sus-jacente et la couche limite urbaine est un cas très particulier de couche limite atmosphérique .[7]

I.5.3.1 Effets dynamiques :

Les principaux effets dynamiques sont un ralentissement local de l'écoulement , dû à la résistance que les obstacles exercent sur le vent , et une augmentation de la turbulence .Due à la forte rugosité caractéristique des surfaces urbaines .les bâtiments peuvent aussi ,selon leur agencement , avoir pour effet de dévier verticalement et horizontalement l'écoulement moyen qui les surplombe (Burustien 1987) .Les écoulements au sommet de la canopée urbaine sont caractérisés par une forte zone de cisaillement où l'énergie cinétique de l'écoulement moyen est transformée en énergie cinétique turbulente .

I.5.3.2 Effets thermiques :

Le climat urbain diffère de celui des zones rurales environnantes .Pour exemple l'ilot de chaleur urbain qui est caractérisé la nuit par un air plus chaud de 3 à 10 K en ville qu'à la compagne [8] . Au bilan énergétique doit s'ajouter un flux anthropique caractérisant les effets du trafic , du chauffage domestique ou des productions industrielles.

I.5.3.3 Effets sur la dispersion :

La dispersion des polluants dépend fortement des conditions météorologiques locales :

A l'échelle de la ville , l'augmentation de la turbulence et la diminution de la stabilité de la couche limite au-dessus des zones urbaines ont pour conséquence de modifier la dispersion .

A l'échelle de la rue , les effets sont plus complexes car ils sont fortement tributaires de l'agencement des obstacles . Si les zones de recirculation qui se forment dans le sillages des bâtiments ont tendance dans la plupart des larges rues à renouveler l'air en augmentant la ventilation , ce n'est pas le cas dans les rues étroites , où la formation d'un vortex stable a pour effet contraire de piéger les polluants .

Chapitre II :

Modèle physique et formulation mathématique

II.1Introduction

Nous présentons dans cette partie un modèle physique et les équations fondamentales de la mécanique de fluide que nous utilisons doivent être complétées , en raison de caractère turbulent des phénomènes , par un modèle de turbulence .

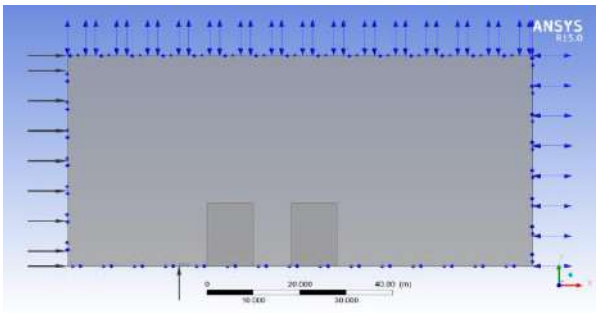
Dans son ensemble, la mécanique des fluides est gouvernée par trois équations fondamentales .Celles -ci sont l'équation de continuité , l'équation de la quantité de mouvement et l'équation d'énergie.

Ensuite, nous faire une formulation mathématique des équations de Navier-stokes qui régissent le mouvement turbulence .

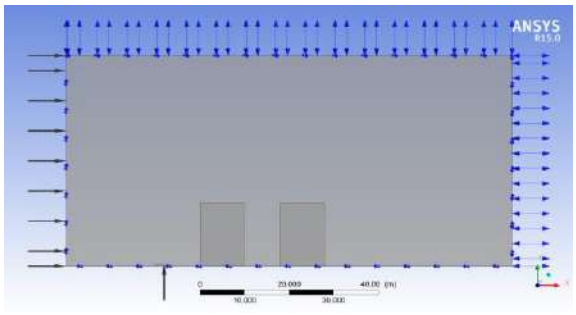
II.2.Modèle physique :

Dans cette section, nous avons mis en œuvre des procédures factuelles, c'est-à-dire en choisissant deux bâtiments des mêmes critères que nous appliquant sur ANSYS-CFX pour étudier la propagation du dioxyde de carbone dans quatre cas différents pour des distances spécifiques, afin d'obtenir les résultats souhaités. Ceci est illustré dans la figure suivante :

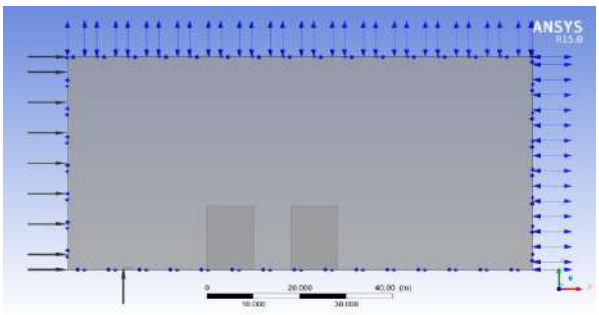
Cas 1 : 4m



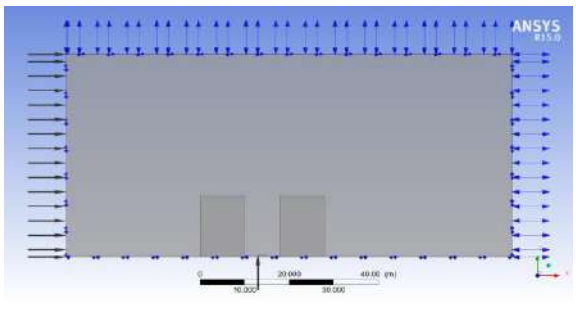
Cas 2 : 8m



Cas 3 : 16 m



Cas 4 :sources entres deux blocs .



FigureII-1 : Modele Phusique les differents cas de probleme étudie

II.3 Formulation mathématique.

II.3.1 Les équations de Navier-Stokes incompressibles.

Pour un gaz parfait et dans le cas où l'on néglige l'action de la pesanteur, on doit résoudre le système d'équations suivant :

- ✓ Équation de continuité (ou équation de bilan de la masse) .
- ✓ Équation de bilan de la quantité de mouvement (ou équations de Navier-Stokes).
- ✓ Équation de bilan de l'énergie .

La formulation différentielle générale de ces équations est :

➢ **Équation de continuité (ou équation de bilan de la masse)** :

De façon générale, le solveur de CFX résout l'équation de Navier-Stokes ainsi que les équations de conservation de la masse et de l'énergie. Ces équations sont résolues en coordonnées cartésiennes à trois dimensions (quatre dimensions si on compte le temps).

L'équation de conservation de la masse s'exprime sous la forme :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}.\left(\rho \vec{U}\right) = S_{\mathrm{m}} \qquad \text{(II.1)}$$

Où $\vec{U}$ est le vecteur vitesse du fluide et S_M est le terme source de masse. Dans le cas où la masse de fluide est constante, S_M prend une valeur nulle.

L'équation de Navier-Stokes peut être exprimée sous une forme générale (celle utilisée par CFX) par :

$$\frac{\partial(\rho \vec{U})}{\partial t} + \vec{\nabla}.\left(\rho \vec{U} \otimes \vec{U}\right) = -\vec{\nabla}\mathrm{p} + \vec{\nabla}.\vec{\tau} + \vec{\mathrm{S}}\mathrm{M} \qquad \text{(II.2)}$$

Ou :

$$\vec{\nabla}.\left(\rho \vec{U} \otimes \vec{U}\right) = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x}(\rho \mathrm{UxUx}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \mathrm{UyUx}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \mathrm{UzUx}) \\ \frac{\partial}{\partial x}(\rho \mathrm{UxUy}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \mathrm{UyUy}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \mathrm{UzUy}) \\ \frac{\partial}{\partial x}(\rho \mathrm{UxUz}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \mathrm{UyUz}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \mathrm{UzUz}) \end{pmatrix} \qquad \text{(II.3)}$$

$\vec{\tau}$ est le tenseur de stress visqueux,

$$\vec{\tau} = \mu(\vec{\nabla}\vec{U} + (\vec{\nabla}\vec{U})^{T} - \frac{2}{3}\delta\vec{\nabla}.\vec{U}) \quad \text{(II.4)}$$

Où μ est la viscosité dynamique (en Pa. s) et δ est la matrice identité

$$\delta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Et $\vec{S}_M$ le terme source de l'impulsion (momentum). Ux est la composante de la vitesse dans la direction $\hat{x}$, et ainsi de suite pour Uy et Uz.

Cette équation vectorielle nous donne trois équations scalaires, une pour chaque direction spatiale.

Le solveur de CFX résout donc les trois équations aux dérivées partielles ci-dessous :

- **Selon OX :**

$$\frac{\partial(\rho U_x)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x U_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U_y U_x) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z U_x) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\left(\frac{4}{3}\frac{\partial U_x}{\partial x} - \frac{2}{3}\frac{\partial U_y}{\partial y} - \frac{2}{3}\frac{\partial U_z}{\partial z}\right)$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}\mu\left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\mu\left(\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x}\right) + S_{Mx} \quad \text{(II.5)}$$

- **Selon OY :**

$$\frac{\partial(\rho U_y)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U_y U_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z U_y) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\mu\left(\frac{2}{3}\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{4}{3}\frac{\partial U_y}{\partial y} - \frac{2}{3}\frac{\partial U_z}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\mu\left(\frac{\partial U_y}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial y}\right) + S_{My} \quad \text{(II.6)}$$

- **Selon OZ :**

$$\frac{\partial(\rho U_z)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x U_z) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U_y U_z) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z U_z) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\left(\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\mu\left(\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\mu\left(-\frac{2}{3}\frac{\partial U_x}{\partial x} - \frac{2}{3}\frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{4}{3}\frac{\partial U_z}{\partial z}\right) + S_{Mz} \quad \text{(II.7)}$$

Le solveur de CFX est basé sur la pression. Les équations sont donc discrétisées de façon à résoudre les équations en fonction de la pression, et la densité est plutôt calculée dans le post-traitement.

Lorsque les effets de la viscosité sont négligeables, alors l'équation de Navier-Stokes tend vers l'équation d'Euler.

Les équations présentées plus haut sont discrétisées de façon implicite, c'est-à-dire que le passage d'un pas de temps à un autre se fait de façon itérative sur des équations non-linéaires. En mode transitoire, deux schémas transitoires sont disponibles, soit Euler en amont au premier et au second ordre ("First Order Backward Euler" et "Second Order Backward Euler"). Il est possible d'imposer des pas de temps constants tout au long du calcul, ou de les rendre adaptatifs selon certains critères choisis.

Pour le schéma d'advection, trois options sont possibles. Le plus robuste, mais aussi le moins précis, est le schéma au premier ordre en amont "Upwind". Ce schéma cause de la diffusion numérique, ce qui a pour effet d'étaler les variations des propriétés thermodynamiques aux endroits où il y a une présence de forts gradients, comme des chocs. Par contre, il peut être utile pour obtenir une première estimation d'un cas en régime permanent qui serait capricieux envers les schémas plus précis mais moins robustes. Le schéma "Specified Blend Factor" permet de choisir l'amplitude du facteur de correction au deuxième ordre servant à corriger les effets de la diffusion numérique.

Par exemple, un facteur de 0 sera équivalent au schéma "Upwind", et un facteur de 1 donnera un schéma pleinement au deuxième ordre. Le schéma "High Resolution" calcule pour chaque nœud la diffusion numérique. Le calcul de ce facteur est basé sur les gradients autour du noeud. Le terme de correction de la diffusion numérique permet une meilleure définition des chocs présents dans un écoulement. Par contre, il induit des oscillations numériques non-physiques dans les solutions autour des chocs.

Ainsi, l'incompressibilité d'un fluide ($\partial\rho/\partial t = 0$)

- **Équation de bilan de la quantité de mouvement.**

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\overline{\overline{grad}}).\vec{u} = -\overrightarrow{grad}\, p + div\left(2\mu\overline{\overline{D}}\right) - \frac{2}{3}\overrightarrow{grad}(\mu\, div\, \vec{u}) \qquad \text{(II.8)}$$

- **Selon OX :**

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right) + (\rho - \rho_0)g_x \qquad \text{(II.9)}$$

- **Selon OY :**

$$\rho(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right)+(\rho-\rho_0)g_y \qquad \text{(II.10)}$$

- **Selon OZ :**

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right)+(\rho-\rho_0)g_z \qquad \text{(II.11)}$$

Où les composants du tenseur des contraintes visqueuses sont donnés par :

$$\mu=\tau_{xy}=\mu\left[(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right]$$

$$\tau_{yz}=\tau_{zy}=\mu\left[(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right]$$

$$\tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left[(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right]$$

$$\tau_{xx}=\mu\left[2\frac{\partial u}{\partial x}\right];\ \tau_{yy}=\mu\left[2\frac{\partial v}{\partial y}\right];\ \tau_{zz}=\mu\left[2\frac{\partial w}{\partial z}\right].$$

- **Équation de bilan de l'énergie.**

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t}+\vec{\nabla}.[\,(\rho e.P)\vec{v}]=\vec{\nabla}.(\overline{\tau}.\vec{v})+\rho\vec{f}.-\vec{\nabla}.(\vec{q})+r \qquad \text{(II.12)}$$

Dans ces équations :

- t représente le temps (unité SI :s) ;
- ρ désigne la masse volumique du fluide (unité SI : $kg{\cdot}m^{-3}$) ;
- $\vec{v}=(v_1,v_2,v_3)$ désigne la vitesse eulérienne d'une particule fluide (unité SI : $m{\cdot}s^{-1}$) ;
- P désigne la pression (unité SI : Pa) ;
- $\overline{\tau}=(\tau_{i,j})_{i,j}$ est le tenseur des contraintes visqueuses (unité SI : Pa) ;
- $\vec{f}$ désigne la résultante des forces massiques s'exerçant dans le fluide(unité SI: $N{\cdot}kg^{-1}$)
- e est l'énergie totale par unité de masse (unité SI : $J{\cdot}kg^{-1}$) ;
- $\vec{q}$ est le flux de chaleur perdu par conduction thermique (unité SI : $J{\cdot}m^{-2}{\cdot}s^{-1}$) ;

- r représente la perte de chaleur volumique due au rayonnement (unité SI : $J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$).

Remarque :

L'énergie totale peut se décomposer en **énergie interne** u et en **énergie cinétique** selon :

$$e = u + \frac{1}{2}\vec{v}.\vec{v} = \mathrm{u} + \frac{1}{2}v^2 \qquad \text{(II.13)}$$

- L'opérateur nabla, qui s'exprime sous la forme $x_1\ x_2\ x_3$

$$\vec{\nabla} = \left(\frac{\partial}{\partial x1}, \frac{\partial}{\partial x2}, \frac{\partial}{\partial x3}\right) \qquad \text{(II.14)}$$

en coordonnées cartésiennes, est un opérateur de dérivation spatiale du 1er ordre. Les opérateurs gradient, divergence et laplacien peuvent s'écrire à l'aide de cet opérateur :

- $div\vec{a} = \vec{\nabla}.\vec{a}$
- $\overrightarrow{grad}\, A = \vec{\nabla}\,\vec{a}$
- $\Delta A = \vec{\nabla}.(\vec{\nabla}\, A) = \nabla^2 A$

En coordonnées cartésiennes(x_1, x2, x3), les équations de conservation s'écrivent :

- Équation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{j=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j) = 0 \qquad \text{(II.15)}$$

- Équation de bilan de la quantité de mouvement (i=1,2,3)

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P\prime}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu_{eff}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\right] + S_M \qquad \text{(II.16)}$$

- Équation de bilan d.

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}[(\rho e + p)v_i] = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{i,j} v_j) + \sum_{i=1}^{3} \rho f_{iv_i} - \sum_{i=1}^{3} \frac{\partial \dot{q}_i}{\partial x_i} + r$$

(II.17)

II.3.2 Fluide newtonien, hypothèse de Stokes.

En première approximation, pour de nombreux fluides usuels comme l'eau et l'air, le tenseur des contraintes visqueuses est proportionnel à la partie symétrique du tenseur des taux de déformation (hypothèse du fluide newtonien) et le flux de chaleur est proportionnel au gradient de la température (**loi de Fourier**), c'est-à-dire

$$\bar{\bar{\tau}} = \mu\,[(\vec{\nabla} \otimes \vec{v}) + (\vec{\nabla} \otimes \vec{v})^t] + \eta(\vec{\nabla}.\vec{v})\,\bar{\bar{I}} \qquad \text{(II.18)}$$

$$\vec{q} = -\lambda\,\vec{\nabla}T \qquad \text{(II.19)}$$

Où :

- μ désigne la viscosité dynamique du fluide (unité SI : Po (**Poiseuille**),

1 Po = 0,1 Pa·s) ;

- η désigne la viscosité de volume du fluide (unité SI : Po) ;
- $\bar{\bar{I}}$ désigne le tenseur unité ;
- λ désigne la conductivité thermique du fluide (unité SI : $W.K^{-1}.m^{-1}$) ;
- T désigne la température (unité SI : K).

Les viscosités dynamiques et de volume sont supposées constantes. L'ensemble des fluides pour lesquels cette hypothèse est vérifiée sont appelés **fluides newtoniens**. On lui adjoint généralement l'**hypothèse de Stokes** :

$$3\eta + 2\mu = 0 \qquad \text{(II.20)}$$

Cette hypothèse n'est vraie que pour des fluides simples comme l'eau, l'air et des gaz comme le méthane.

On peut alors réécrire l'équation de quantité de mouvement sous la forme:

$$\rho\left[\frac{\partial\vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}.\vec{\nabla})\vec{v}\right] = -\vec{\nabla}p + \mu\left[\nabla^2\vec{v} + \frac{1}{3}\vec{\nabla}(\vec{\nabla}.\vec{v})\right] + \rho\vec{f} \qquad \text{(II.21)}$$

Remarque :

De nombreux fluides complexes, tels que les polymères, les hydrocarbures lourds, le miel, ou encore la pâte de dentifrice, ne vérifient pas ces hypothèses : on recourt alors à d'autres lois de comportement visqueux, dites non newtoniennes (par exemple la loi du **fluide de** Bingham). La science chargée d'étudier les relations entre contrainte et déformation pour de tels fluides s'appelle la rhéologie.

II.3.3 Expression pour les écoulements de fluides compressibles

L'écoulement d'un fluide est dit **incompressible** lorsque l'on peut négliger ses variations de masse volumique au cours du temps. Cette hypothèse est vérifiée pour l'eau liquide et les métaux en fusion. Elle est aussi vérifiée pour les gaz lorsque le **nombre de Mach** Maest **faible**. En général, on considère l'écoulement incompressible lorsque Ma<0,3. Dans le cas contraire, c'est-à-dire pour un écoulement **compressible**, on adjoint pour fermer le système une **équation d'état** du fluide, de la forme

$$f(p,\rho,T)=0 \qquad (\text{II.22})$$

Pour un **gaz parfait**, cette équation d'état s'écrit

$$p=\rho\frac{R}{M}T \qquad (\text{II.23})$$

où R désigne la constante des gaz parfaits et M la masse molaire du fluide.

Ainsi, en négligeant les pertes de chaleur par rayonnement, pour un écoulement compressible de fluide visqueux newtonien vérifiant l'hypothèse de Stokes et la loi des gaz parfaits, on obtient un système de 6 équations à 6 inconnues $\rho,\vec{v},p$ et T :

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\vec{\nabla}.(\rho\vec{v})=0 \qquad (\text{II.24})$$

$$\rho\left[\frac{\partial\vec{v}}{\partial t}+\left(\vec{v}.\vec{\nabla}\right)\vec{v}\right]=-\vec{\nabla}p+\mu\left[\nabla^2\vec{v}+\frac{1}{3}\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{v}\right)\right]+\rho\vec{f} \qquad (\text{II.25})$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t}+\vec{\nabla}.[(\rho e+p)\vec{v}]=\vec{\nabla}.(\bar{\bar{\tau}}.\vec{v})+\rho\vec{f}.\vec{v}+\vec{\nabla}.(\lambda\vec{\nabla}T) \qquad (\text{II.26})$$

$$p=\rho\frac{R}{M}T \qquad (\text{II.27})$$

L'énergie totale par unité de masse e est reliée à la pression, la masse volumique et à la vitesse par l'équation

$$p = (\gamma - 1)\rho(e - \frac{1}{2}v^2) \quad \text{(II.28)}$$

Où γ désigne l'exposant isentropique du gaz parfait.

II.3.4 Expression pour les écoulements de fluides incompressibles

Pour un fluide visqueux newtonien et lorsque l'écoulement est incompressible, l'équation de l'énergie est découplée des équations de continuité et de quantité de mouvement, c'est-à-dire qu'on peut déterminer la vitesse et la pression indépendamment de l'équation de l'énergie. L'expression des équations de continuité et de quantité de mouvement sont considérablement simplifiées. On obtient alors :

- Équation de continuité appelée alors équation d'incompressibilité

$$\vec{\nabla}.\vec{v} = 0 \quad \text{(II.29)}$$

Équation de bilan de la quantité de mouvement

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \left(\vec{v}.\vec{\nabla}\right)\vec{v} = -\frac{1}{2}\vec{\nabla}p + \nu\nabla^2\vec{v} + \vec{f} \quad \text{(II.30)}$$

Où $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ désigne la viscosité cinématique du fluide (unité SI : $m^2.s^{-1}$) et $(\vec{v}.\vec{\nabla})\vec{v}$ est le terme *de convection*.

II.3.4.1 Expression en coordonnées cartésiennes (x, y, z).

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad \text{(II.31)}$$

Et

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) + f_x \quad \text{(II.32)}$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}} + \mathrm{w}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{y}} + \nu\left(\frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}^2}\right) + \mathrm{f_y} \quad \text{(II.33)}$$

$$\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{y}} + \mathrm{w}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial \mathrm{z}} + \nu\left(\frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial \mathrm{y}^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}^2}\right) + \mathrm{f_z} \quad \text{(II.34)}$$

II 3.4.2 Expression en coordonnées cylindriques (r, ∅ ,z).

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(ru_r)+\frac{1}{r}\frac{\partial u_\phi}{\partial \phi}+\frac{\partial u_z}{\partial z}=0 \qquad \text{(II.35)}$$

Et

$$\frac{\partial u_r}{\partial t}+u_r\frac{\partial u_r}{\partial r}+\frac{u_\phi}{r}\frac{\partial u_r}{\partial \phi}+u_z\frac{\partial u_r}{\partial z}-\frac{u_\phi^2}{r} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}+\nu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial u_r}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 u_r}{\partial \phi^2}+\frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2}-\frac{u_r}{r^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial u_\phi}{\partial \phi}\right]+f_r \qquad \text{(II.36)}$$

$$\frac{\partial u_\phi}{\partial t}+u_r\frac{\partial u_\phi}{\partial r}+\frac{u_\phi}{r}\frac{\partial u_\phi}{\partial \phi}+u_z\frac{\partial u_\phi}{\partial z}+\frac{u_r u_\phi}{r} = -\frac{1}{\rho r}\frac{\partial p}{\partial \phi}+\nu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial u_\phi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 u_\phi}{\partial \phi^2}+\frac{\partial^2 u_\phi}{\partial z^2}+\frac{2}{r^2}\frac{\partial u_r}{\partial \phi}-\frac{u_\phi}{r^2}\right]+f_\phi \qquad \text{(II.37)}$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t}+u_r\frac{\partial u_z}{\partial r}+\frac{u_\phi}{r}\frac{\partial u_z}{\partial \phi}+u_z\frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial u_z}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 u_z}{\partial \phi^2}+\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2}\right]+f_z \qquad \text{(II.38)}$$

II.4 La Turbulence.

La turbulence est un phénomène présent de manière très facilement visible dans la nature :

- Dans l'air : les rafales de vent, les mini-tornades dans le désert, le panache de fumée des grandes cheminées, turbulence atmosphérique (tourbillons de taille > 1000 km)...
- Dans l'eau : le lait dans le café, les remous dans les rivières....
- Dans la mer : le Gulf Stream
- Dans la terre : le mouvement des plaques continentales
- Dans l'espace : l'atmosphère externe de Jupiter

Il est également très présent dans les écoulements industriels :

- Aérodynamique externe des voitures, des camions
- Sillage des avions
- aérodynamique interne dans les moteurs (combustion, etc.)

II.4.1 Les effets de la turbulence .

- ✓ **Effets positifs** : l'augmentation du mélange permet d'améliorer la combustion par exemple, d'améliorer la portance des avions, de réduire la température ;
- ✓ **Effets négatifs** : diffusion de la pollution

D'autre part, certaines grandeurs macroscopiques sont bien reproductibles. Par exemple :

- traînée et portance d'une voiture dans une soufflerie donnée ;
- débit d'une conduite à haut Reynolds ;
- puissance d'un moteur à combustion ;
- température maximale des disques de frein ;
- durée de persistance du sillage d'un avion de ligne ;
- portance et traînée d'un avion.

II.4.2 Les modèles Turbulence.

II.4.2.1 Le modèle k-ε .

Le modèle k-ε standard qui se base sur le concept bousinesq (1977) les termes des contraintes de Reynolds sont [9] :

$$-\rho\overline{u_i u_j} = 2\mu_t s_{ij} - \frac{2}{3}\rho k\delta_{ij}$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)$$ Est le tenseur de Reynolds

$$\mu_t = \rho\nu_t = pC_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$ La Viscosité turbulente

Avec $C\mu = 0{,}09$

L'énergie cinétique turbulent est défini par :

$$K = \frac{1}{2}\overline{u_i u_i} = \frac{1}{2}\left(\overline{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}\right)$$

Le taux de dissipation ε de l'énergie cinétique k est donné par :

$$\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u_i \partial u_i}{\partial x_j \partial x_j}}$$

➢ ***Coefficient du modèle k-ε***

L'adaptation des constants standards du modèle . rend le système d'équation opérationnel. Elles sont réunies dans le tableau

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_k	σ_ε
0.09	1.44	1.29	1	1.3

Tableau II-1 : valeurs des constants du modèle k-ε .[10]

Il est indispensable de savoir que le modèle k-ε est applicable aux écoulements à nombre de Reynolds élevé.

II.4.2.2 Modèle RNG k-ε

Le modèle RNG, développé par le groupe de renormalisation [11] consiste en une estimation au cours du calcul de la constante $C_{\varepsilon 1}$, remplacée dans l'équation de dissipation par $C'_{\varepsilon 1}$. Cette expression ajoute un terme fonction du taux de déformation η à l'équation du taux de dissipation le rendant ainsi moins diffusif.

$$C'_{\varepsilon 1} = C_{\varepsilon 1} - \frac{\eta\left(1 - \frac{\eta}{\eta_0}\right)}{1 + \beta\eta^3}$$

Avec :

$$\eta = \frac{k}{\varepsilon}\sqrt{\frac{p}{\eta_t}}$$

Les constantes du modèle RNG ont pour valeur :

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_ε	η_0	β
0.085	1.42	1.68	0.7179	4.38	0.015

Tableau II-2 : constantes du modèle RNG k-ε

Chapitre III :
Présentation de code ANSYS-CFX

III.1 Introduction :

Pour résoudre numériquement les équations de Navier-Stokes, il existe plusieurs codes numériques de type CFD .On cite par exemple CFX, ANSYS, SATURNE….etc.

Dans ce chapitre , On a présenté le Code ANSYS-CFX que nous avons utilisé dans notre travail, et on a cité les principaux modules de code CFX .

III.2 Présentation de code ANSYS-CFX :

CFX est un nom générique qui regroupe un ensemble de codes de CFD d'usage universel capables de traiter des écoulements tridimensionnels complexes. Il comprend aussi des logiciels de génération de maillage, de création de géométrie ou d'importation depuis la CAO.

Le code de calcul ANSYS-CFX utilise une méthode couplée où les équations dynamiques (u,v,w et p) sont résolues comme une équation unique. Cette méthode utilise une approche entièrement pour chaque pas de temps .Dans le cas d'un écoulement stationnaire , le pas de temps se comporte comme un paramètre d'accélération pour rendre la solution stationnaire convergente et plus au moins réelle.

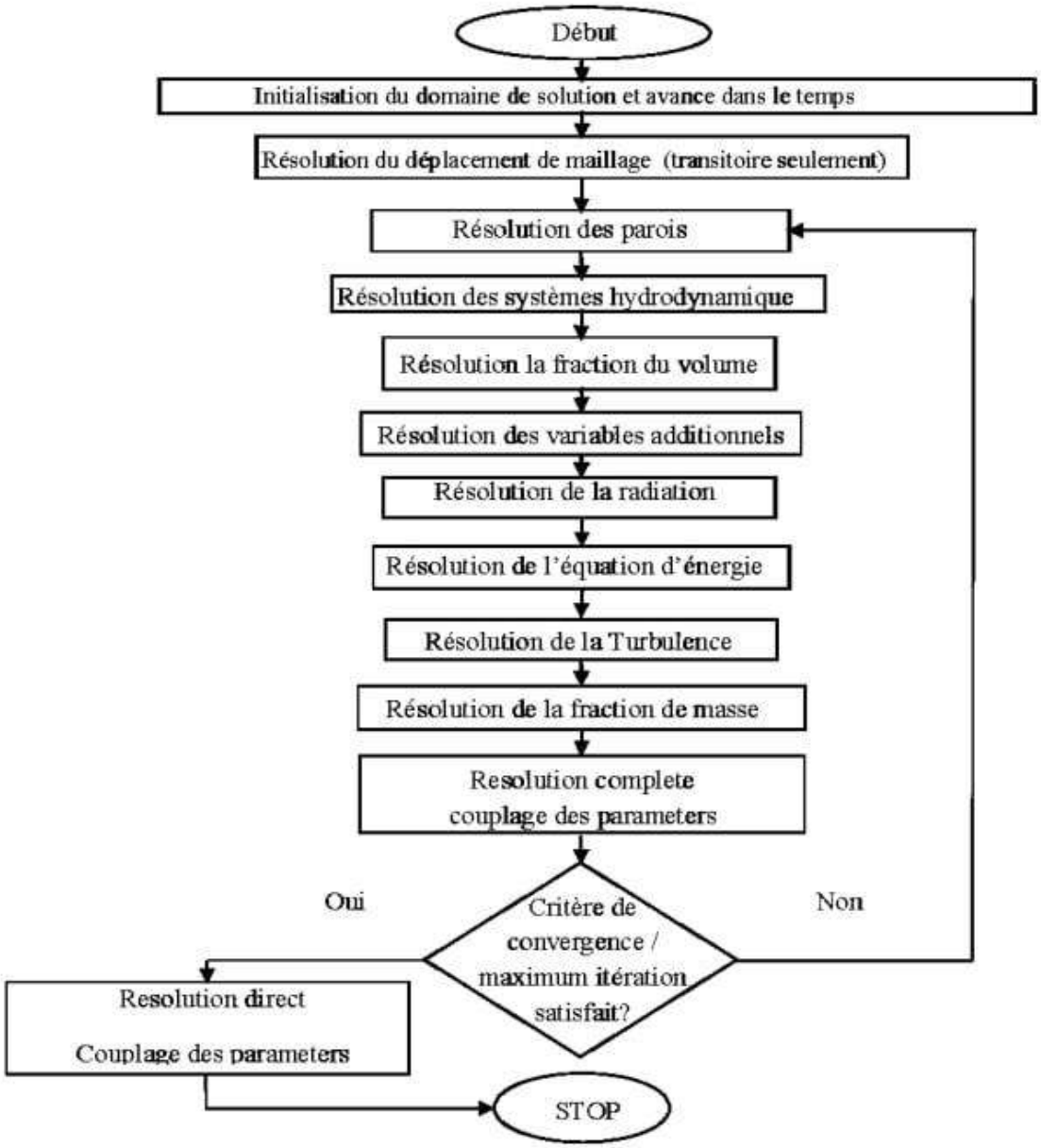


Figure III-1 : Organigramme général de calcul du code ANSYS-CFX

III.3 Les principaux modules du logiciel ANSYS-CFX :

La figure 3.1 présente les cinq modules principaux du logiciel ANSYS-CFX qui sont liés entre eux par le déroulement des informations d'un problème à étudier pour une analyse CFD.

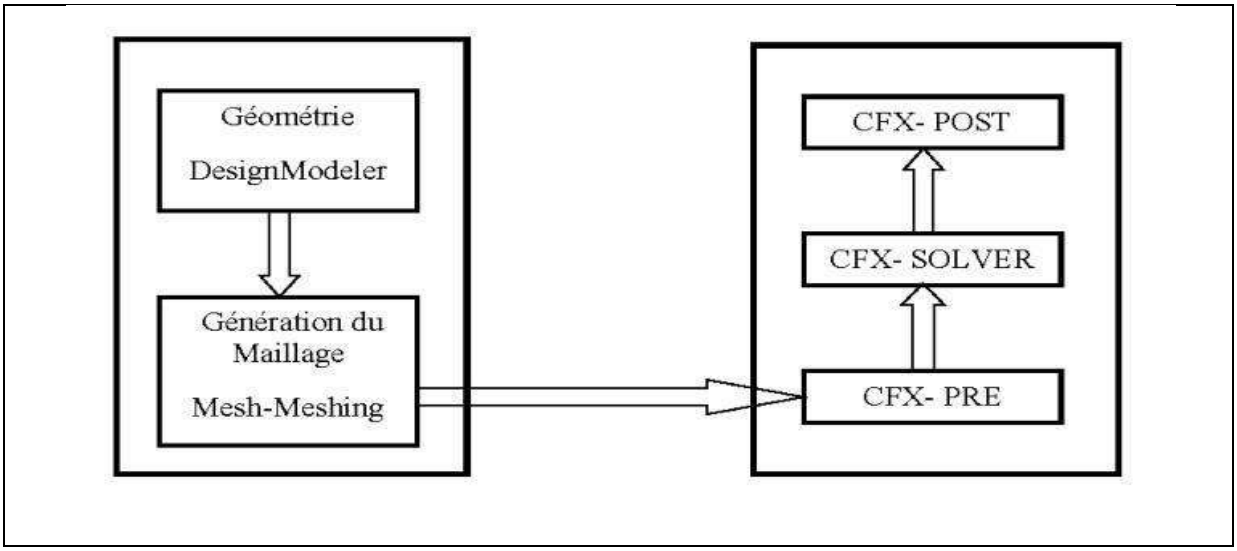


Figure III.2 : Les principaux modules de l'ANSYS-CFX [12]

III.3.1 Module de géométrie (design Modeler) :

Le module design Modeler est conçue pour dessiner des esquisses 2D , la modélisation 3D ou l'importation des modèles 3D. Dans cette étude , la modélisation de profil S809 a été faite à l'aide du logiciel SOLIDWORKS et importer au design modeler pour l'étape du maillage .

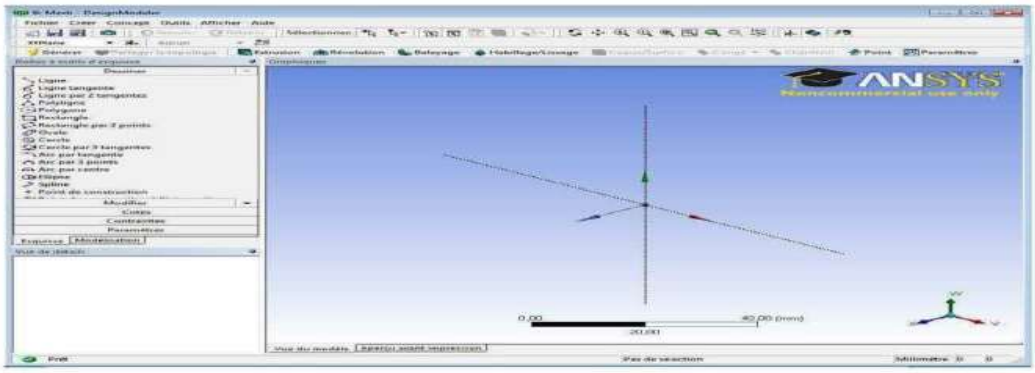


Figure III-3 : Module Design-Modeler

III.3.2 Module de génération de maillage :

La génération de maillage est faite à l'aide du module Mesh-Meshing qui est une composante importante de l'ensemble CFX . C'est un module simple , spécialisé dans la création de maillages dans les turbomachines et autres , à l'aide de différents modèles préexistants , un maillage structuré de qualité peut être rapidement crée.

Le degré de résolution de maille est exigé dans chaque région du domaine .La maille doit résoudre les dispositifs géométriques d'intérêt et capturer des gradients intéressants par exemple , pression , gradients de la température …etc. Elle peut prévoir des régions des gradients élevés pour employer l'adaptation et augmenter la résolution .

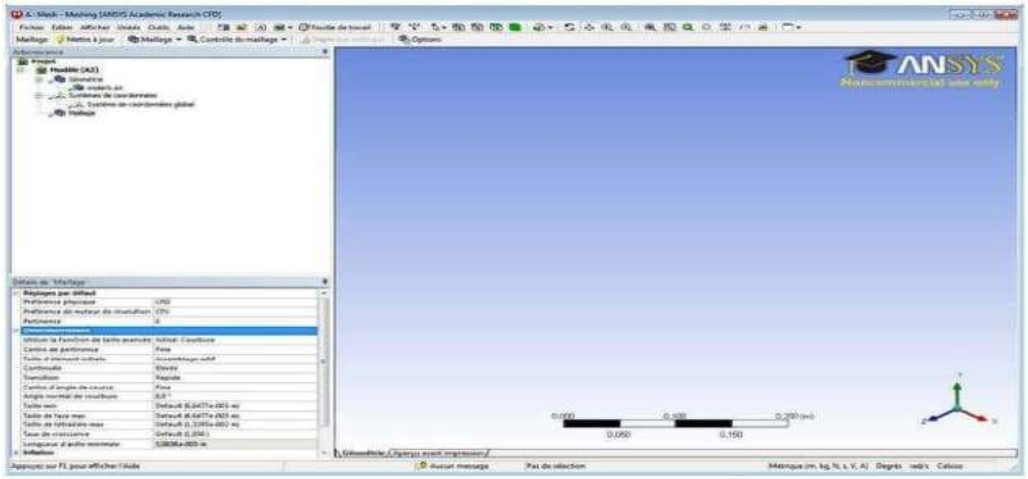


Figure III-4 : Module Mesh-Meshing

III.3.2.1 Les types de maillage :

- **Maillage structuré *:***

Il présente un nombre inférieure de mailles par rapport un maillage non structuré équivalent : donc il est économique en nombre d'éléments .

Le maillage structuré réduit les risque d'erreurs numérique , mais il est difficile à générer dans le cas d'une géométrie complexe .

- **Maillage non structuré :**

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition . Ses avantages :

- ✓ Peut être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments .
- ✓ Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri) sont très automatisés .

Ses inconvénients Très gourmade en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.

- ✓ Engendre des erreurs numériques qui peuvent etre plus importante si l'on le compare avec le maillage structuré .[13]

- **Maillage hybride :**

C'est un maillage généré par un mélange d'éléments de différents types , triangulaires ou quadrilatéraux en 2D, tétraédriques, prismatiques, ou pyramidaux en 3D.Ilcombine les avantages des maillages structurés et non structurés .

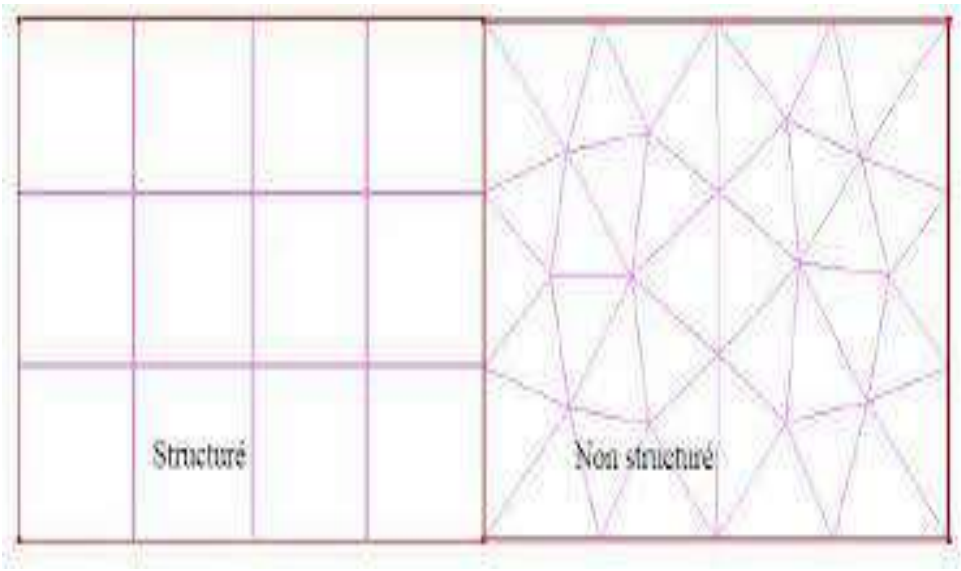


Figure III-5 :Maillage structuré et non structuré.

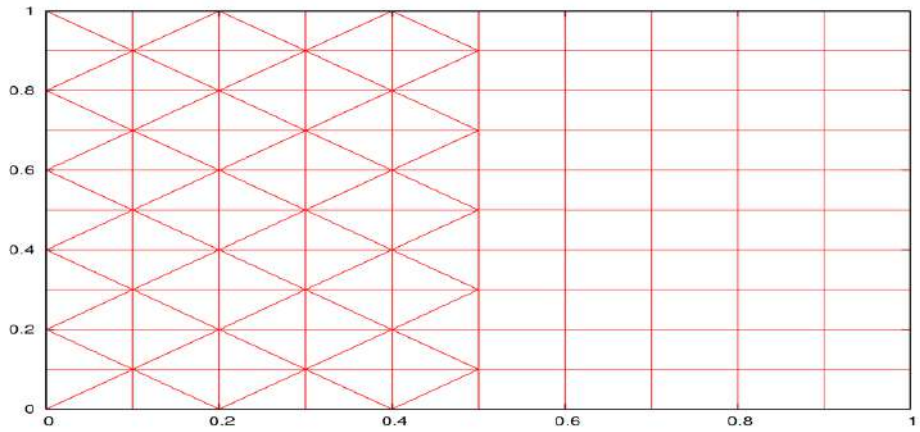


Figure III-6 : Maillage hybride

III.3.2.2 Les types des éléments de maillage :

La maille divise la géométrie en éléments de type : Triangle , quadrilatérale ,pyramide, prisme/cale…etc

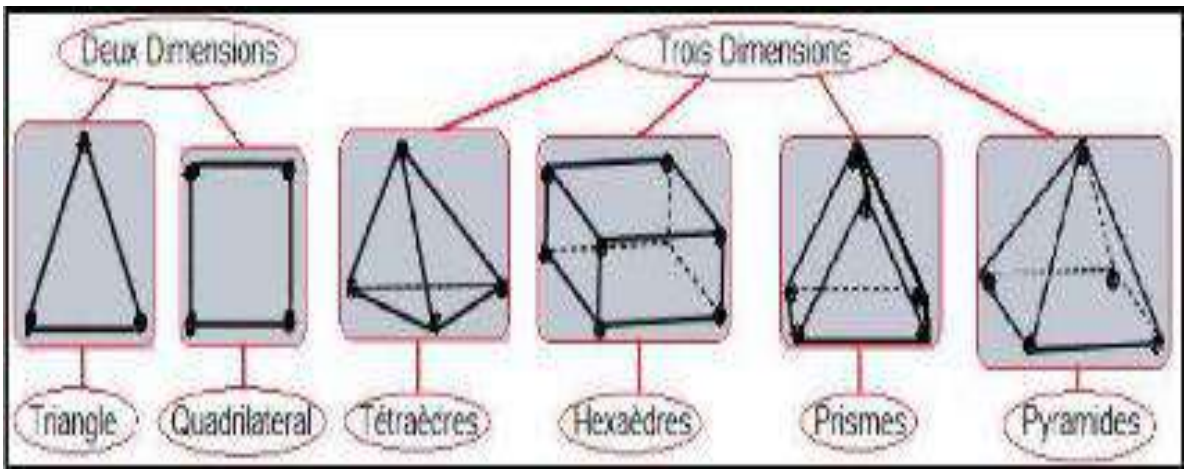


Figure III-7 : Différents éléments de maillage .

III.3.3 Module CFX-Pre :

Il permet d'importer la maillage d'une géométrie à étudier , construit par le module Mesh-Meshing ou importer à partir d'autres générateurs de maillage tels que le ICEMCFD, GAMBIT…etc .

Le CFX est conçu pour spécifier le type de l'écoulement qui peut être laminaire ou turbulent .Les conditions initiales et aux frontières du problème étudier ainsi que les paramètres de convergence (nombre d'itérations et la tolérance d'erreur) sont également spécifiés .

III.3.3.1 Les conditions aux limites *:*

A l'aide de CFX-Pre on peut définir les conditions aux limites tel que la rentré et la sortie de fluides (Inlet ,outlet,), les faces ou la vitesse es nulle (Wall),et les faces prée la même calcule (symmetry) .

On définit alors :

- **Inlet :**

Les conditions Inlet représente la rentrée du fluide, après avoir ouvrir boundary inlet choisir la face d'entrée puis cliquez sur détailles pour entrer la valeur de la vitesse et choisir le modèle utilisé.

- **Outlet** :

La condition Outlet représente la sortie du fluide, sélectionner la face de sortie puis cliquez sur détailles pour entrer la valeur de la pression.

- **Wall :**

Condition définit la paroi et la vitesse est nulle.

- **Symmetry** :

C'est une condition représenté les faces qui comportent les point a prée cette la mémé calcul. [14].

III.3.3.2 Control du calcul *:*

Choix du nombre d'itérations maximal, timescale factor et trajet résiduel. Pour préciser les calculs itératifs, des valeurs initiales sont assignées pour toutes les variables de la solutions avant de commencer le calcul.

III.3.3.3.Matériel :

CFX contient une bibliothèque de beaucoup de matériaux. Choix du matériel employé dans le domaine.

Dans de l'arbre du menu. Un clic droit sur « matériaux » et en choisissant « insertions »

le matériel Nommez-le Component Mat définissent le matériel comme substance pure dans le groupe de matériel.

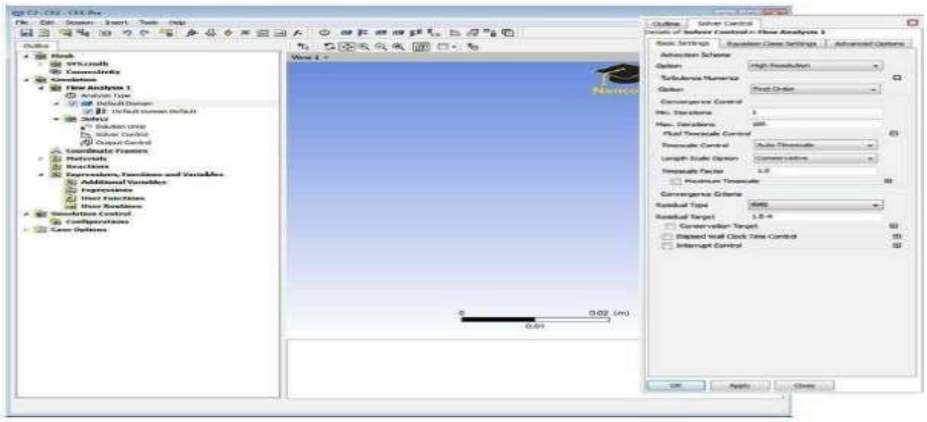


Figure III-8 : Module CFX-Pre .

III.3..4.Module CFX-Solver :

Il permet de résoudre les équations dynamiques modélisant un problème physique. Toutes les spécifications du problème produites dans le module CFX-Pre sont prises en compte par le module CfX Solver pour un nombre d'itération bien défini.

Le module CFX-Solver utilise le CFX-Solver Manager qui permet de gérer la tache CFD tel que montré à la figure (III-9)

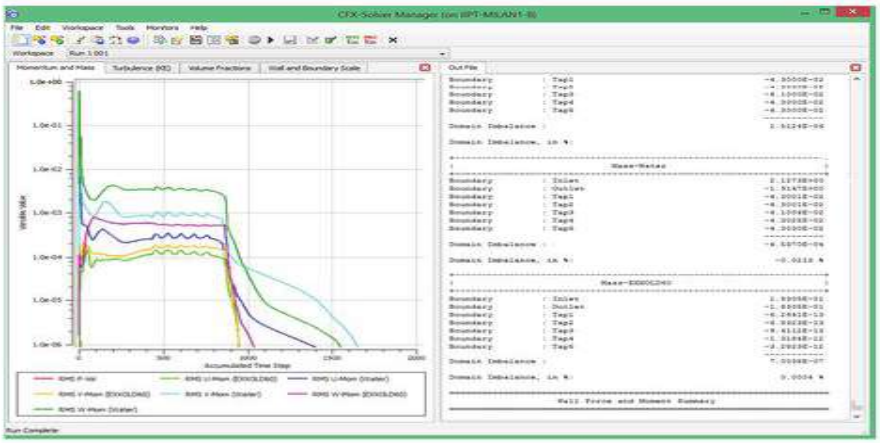


Figure III-9: CFX-Solver.

Ces fonctions principales sont les suivantes :

- Indique les données d'entrée ;
- Lancer ou arrêter la simulation ;
- Surveiller la progression de la solution.

Pour lancer la solution cliquez sur la cellule solution puis cliquez Solution Itérative pour assigner les valeurs initiales avant de calculer une solution.

Les valeurs initiales peuvent être définies de trois manières :

- Introduites automatiquement par le logiciel (par défaut).
- Imposées par l'utilisateur.
- Obtenues à partir d'une solutions précédente.

III.3.5 Module CFX-Post :

Ce module permet de visualiser les différents résultats obtenus par le CFX-Solver. Il dispose d'outils graphiques très puissants permettant la présentations et l'analyse des résultats en forme de :

- Ligne de courant, champ de vitesse, de pression.
- Visualiser différents paramètres définis par l'utilisateur.
- Exporter les résultats en différents formats, pour tracer l'évolutions des variables avec d'autres logiciels graphiques tels qu'Origine ou tec plot.
- Déterminer d'autre paramètre comme la puissance , le rendement, la force et autre en utilisant le module calculators.

Pour lancer le résultat double cilc sur la cellule résultat, on peut créer beaucoup de différents objets dans résultat. Le menu d'insertion montre une pleine liste, mais il ya des raccourcis pour tous les articles. Un certain objet commun est :

- Location de : points , plantes, Surfaces, Volumes
- Vector plots
- Contour plots
- Streamlines

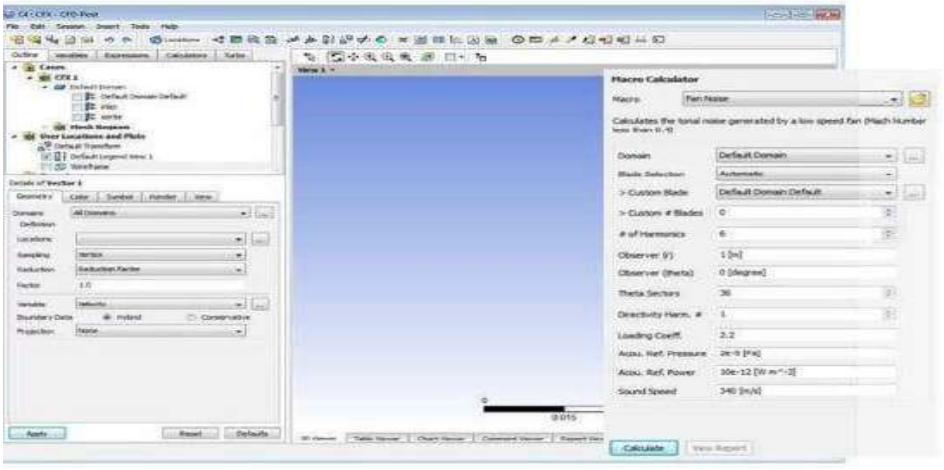


Figure III-10 : Module CFX-Post

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre on a étudie l'évolution de la distribution de chacun des : fraction volumique, la température et les lignes de courant d'après les différentes distances de la source.

IV.2 Interprétations de résultats :

1 ère cas :x=4m

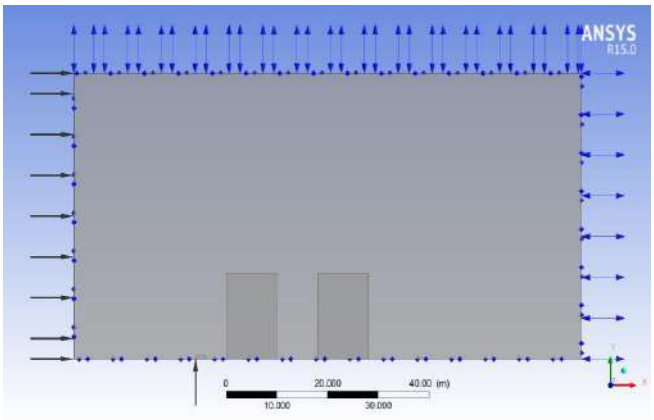


Figure IV-1 : La source loin de première bloc avec une distance de 4 mètre.

IV.2.1 Evolution de la fraction volumique (CO_2) :

La figure IV-2 Montre l'évolution de la fraction volumique (CO_2) dans le cas de la source loin de premier bloc avec une distance de 4 mètre, on observe une grande quantité de fraction volumique CO_2 dans la moitié de la hauteur de première bloc (6)est moins de quantité pour le deuxième bloc .

Ce fait que le premier bloc Joue un rôle de séparation pour le deuxième bloc, donc La variation de La distribution de la fraction volumique dans le milieu urbaine (avant, entre et après les blocks) grâce à la vitesse d'entrée de l'écoulement de l'air.

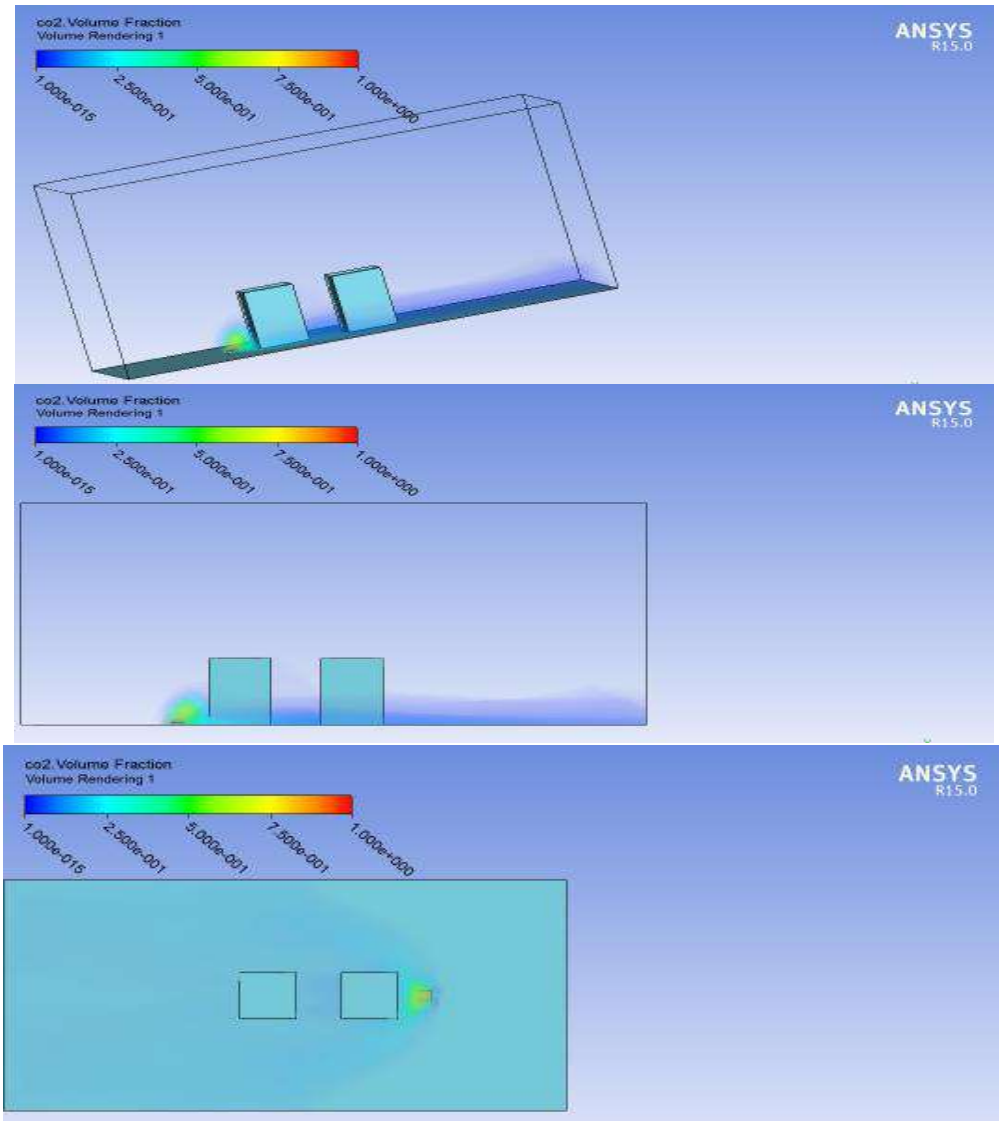


Figure IV-2 : contours de la variation de la fraction volumique pour x=4m

IV.2.2 Evolution de la Température :

La figure IV-3 représente la variation de la température en fonction du temps et la vitesse du vent. D'après la figure 2, on remarque que la température est élevée T= 369 K juste près de la source de CO_2 et cela est dû à la forte concentration de ce gaz qui est stagné dans cette zone. Ensuite une diminution équitable de la température dans les deux couloirs à gauche et à droite des deux bâtiments, à cause de la diminution de la concentration de CO_2 transporte dans ces zones.

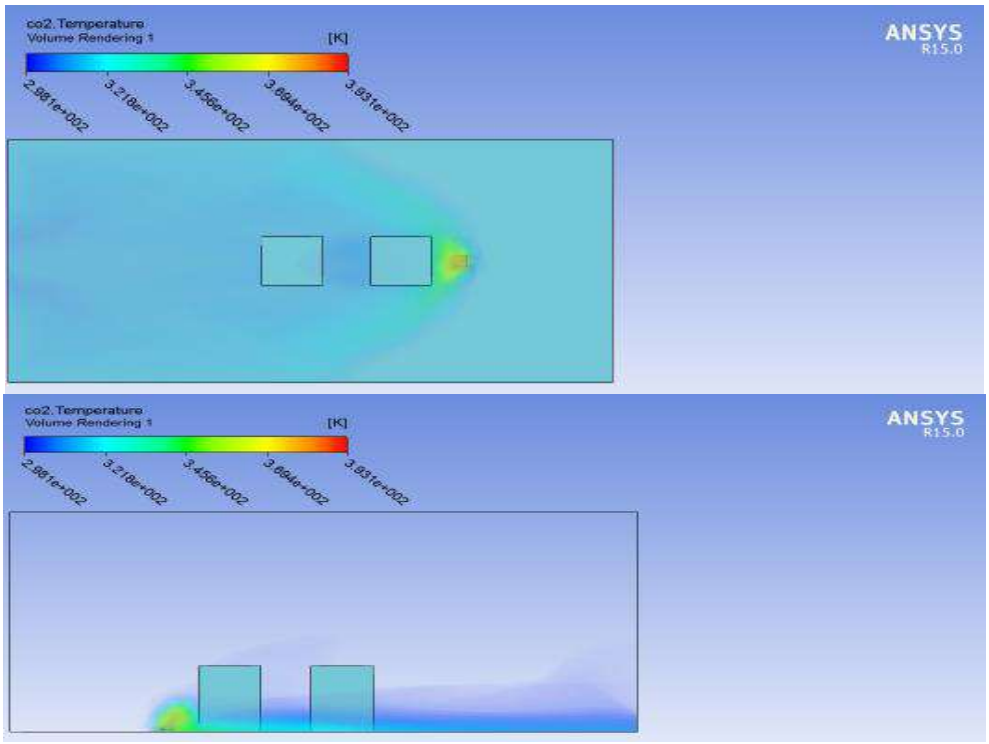


Figure IV-3 : contours de la variation de la température pour x=4m.

IV.2.3 Evolution de la vitesse :

La figure IV-4 représente la variation de la vitesse du vent dans l`ensemble du domaine étudier. D`après la figure on remarque que la vitesse atteint son maximum devant le début du domaine d`étude V= 5 m / s, ensuite une diminution remarquable de la vitesse en fonction de la distance parcourue V= 3 m / s.

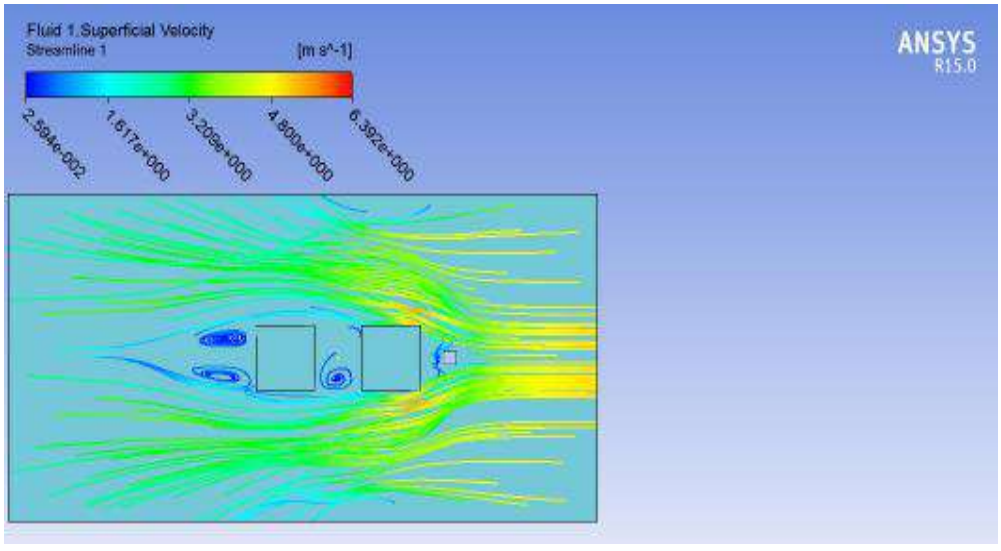


Figure IV-4 : Les lignes de courant pour x=4m.

2éme cas :x=8m

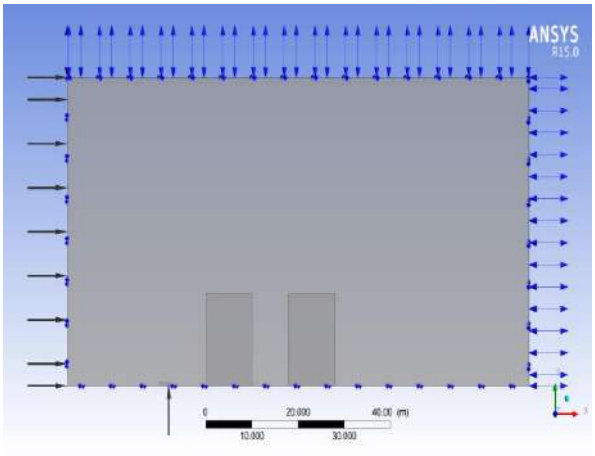
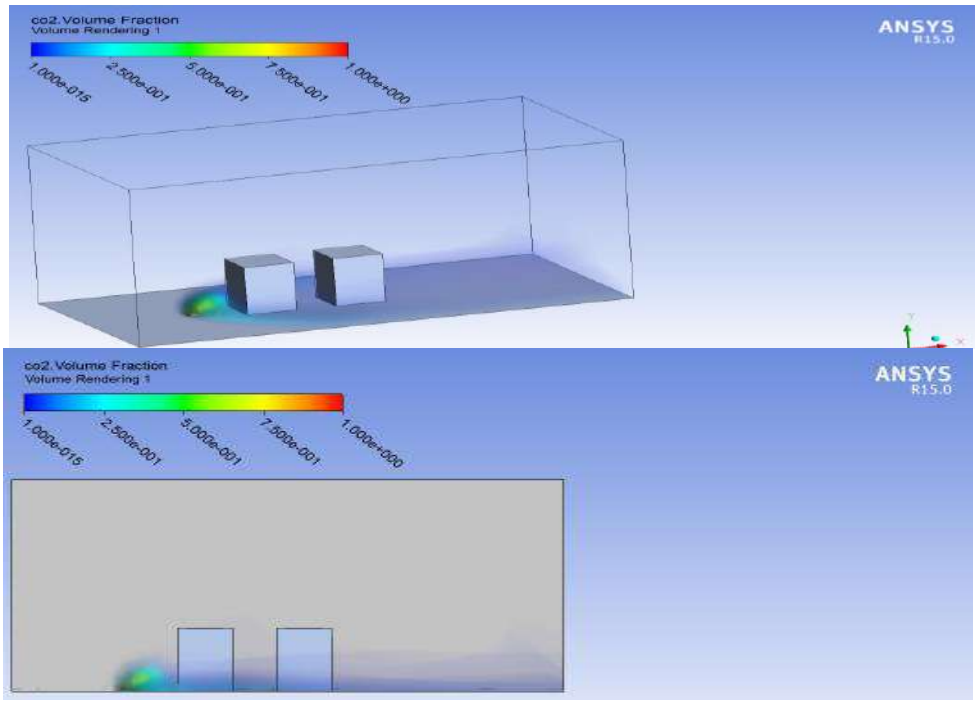


Figure IV-5 : La source loin de première bloc avec une distance de 8 mètre.

IV.2.4 Evolution de la fraction volumique (CO_2) :

La figure IV-6 montre la dispersion d`un gaz de $CO_2$ dans une agglomération urbain d`après une source émettrice qui est loin de la façade de bâtiment avec une distance de 8m. D`après la figure on observe qu`il a une stagnation de ce gaz 0.5 en fonction du temps près de premier bâtiment grâce à la distance d`évacuation de CO_2 qui est importante.



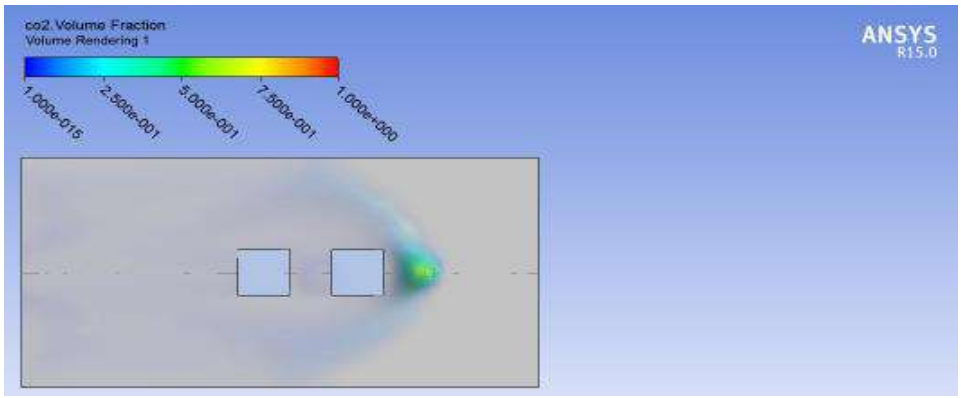


Figure IV-6 : contours de la variation de la fraction volumique pour x=8m

IV.2.5 Evolution de la température :

La figure IV-7 représente la variation de la température en fonction du temps et la vitesse du vent. D'après la figure 5, on remarque que la température est élevée (T= 345 K) juste près de la source de CO_2 et cela est dû à la concentration de ce gaz qui est stagné dans cette zone. Ensuite une variation équitable de la température dans les deux couloirs à gauche et à droite des deux bâtiments, à cause de la de la concentration de CO_2 transporte dans ces zones.

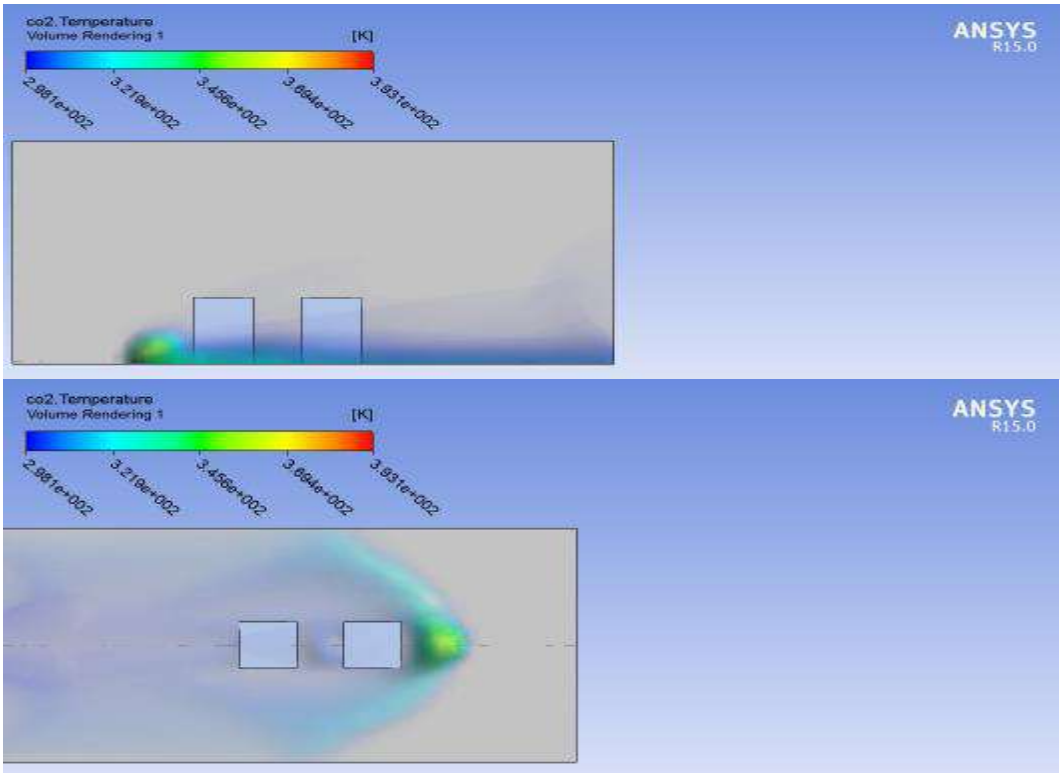


Figure IV-7 : Contours de la variation de la température pour x=8m.

IV.2.6 Evolution de la vitesse :

La figure IV-8 représente la variation de la vitesse du vent dans l`ensemble du domaine étudier. D`après la figure on remarque que la vitesse atteint son maximum devant le début du domaine d`étude V= 5 m / s, ensuite une diminution remarquable de la vitesse en fonction de la distance parcourue V= 3 m / s.

La vitesse ne change pas avec la distance de source par rapport aux bâtiments) ,la figure IV-8 c`est la même figure IV-4.

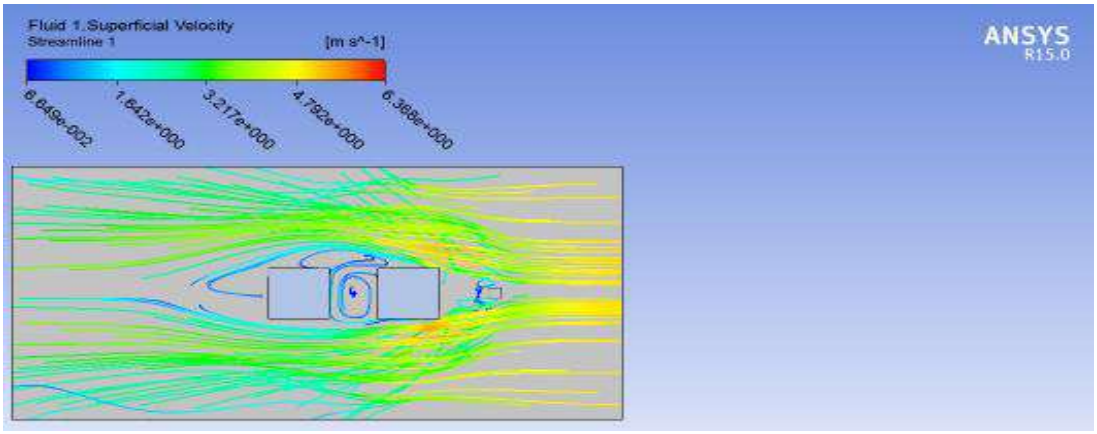


Figure IV-8 : Les lignes de courant pour x=8m.

3éme cas : x=16m

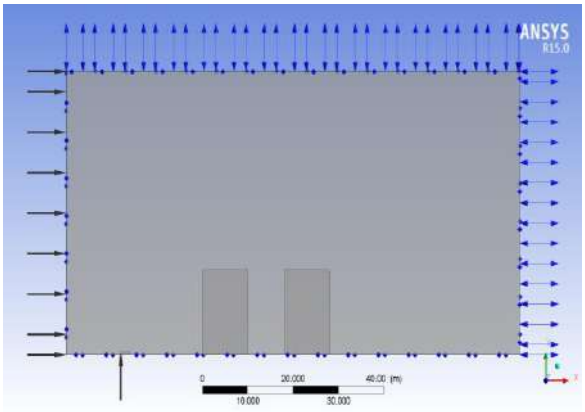


Figure IV-9 : La source loin de première bloc avec une distance de 16 mètre.

IV.2.7 Evolution de la fraction volumique (CO_2) :

La figure IV-10 montre la dispersion d`un gaz de $CO_2$ dans une agglomération urbain d`après une source qui est loin de la façade de bâtiment avec une distance de 16m. D`après la figure on observe qu`il a une stagnation de ce gaz 0.25 en fonction du temps près de premier bâtiment, ensuit il y a une dispersion remarquable de CO_2dans les deux couloirs, grâce à la distance important x = 16m entre la source et la façade de bâtiment qui favorise l`évacuation de CO_2.

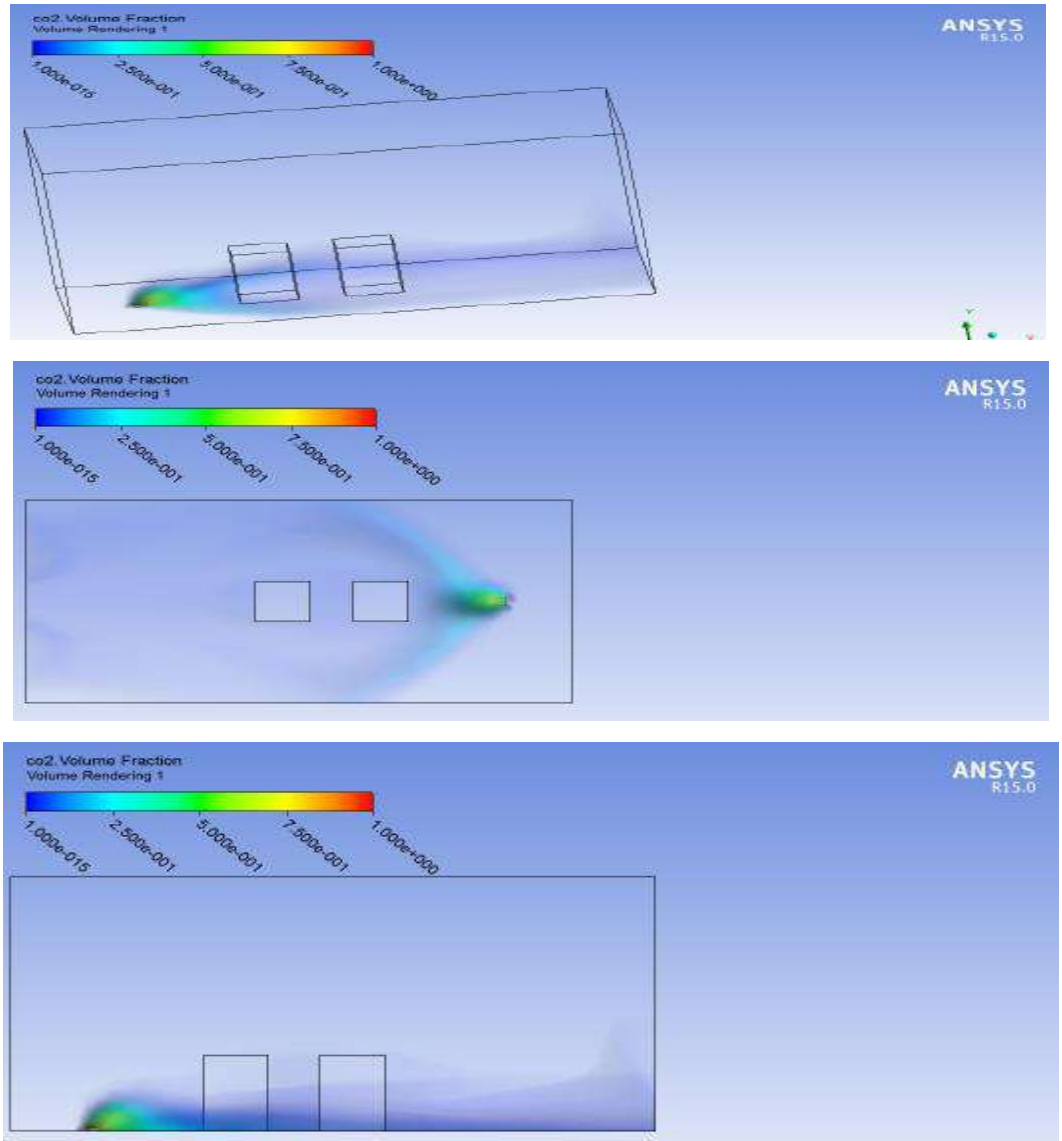


Figure IV-10 : contours de la variation de la fraction volumique pour x=16m

IV.2.8 Evolution de la température :

La figure IV-11 représente la variation de la température en fonction du temps et la vitesse du vent. D'après la figure 8, on remarque que la température est devenue T= 321 K juste près de la source de CO_2 et cela est dû à la concentration de ce gaz qui est propagé dans cette zone. Ensuite une variation équitable de la température dans les deux couloirs à gauche et à droite des deux bâtiments, à cause de la de la concentration de CO_2 transporte dans ces zones.

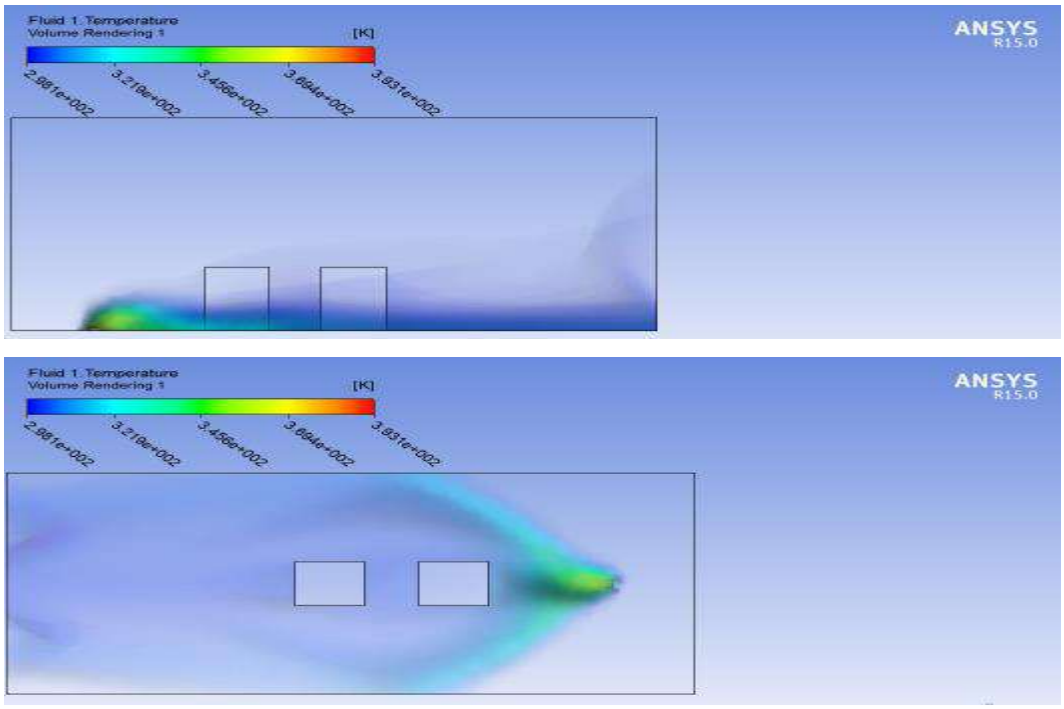


Figure IV-11 : Contours de la variation de la température pour x=16m.

IV.2.9 Evolution de la vitesse.

La figure IV-12 représente la variation de la vitesse du vent dans l`ensemble du domaine étudier. D`après la figure on remarque que la vitesse atteint son maximum devant le début du domaine d`étude V= 5 m / s, ensuite une diminution remarquable de la vitesse partager sur les deux chemins en fonction de la distance parcourue V= 3 m / s.

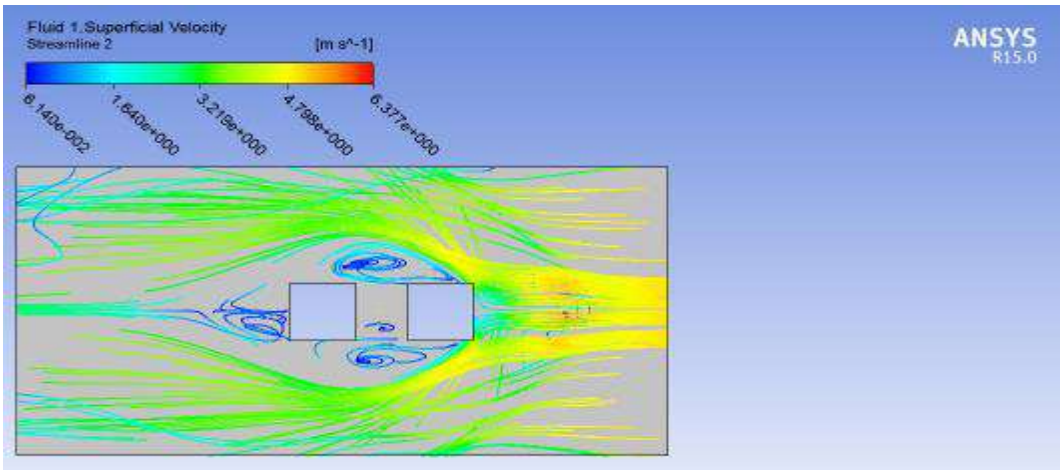


Figure IV-12 : Les lignes de courant pour x=16m.

4éme cas : Sources entres deux blocs.

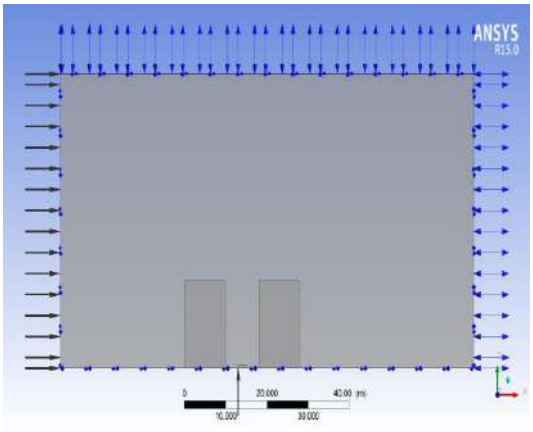


Figure IV-13 : La source est entre les deux blocs .

IV.2.10 Evolution de la fraction volumique (CO_2) :

La figure IV-14 montre la dispersion d`un gaz de $CO_2$ dans une agglomération urbain d`après une source émettrice qui est placé entre les bâtiments. D`après la figure on observe qu`il a une accumulation de ce gaz 0.85 en fonction du temps entre les bâtiments, et cela est dû à l`emprisonnement de CO_2 par les 2 façades des bâtiments et les profils de vitesse du vent qui bloque la dispersion à gauche et à droite. Ensuit il y a une faible dispersion de CO_2dans les deux couloirs 0.1,grâce à le débordement de ce gaz dû à la forte concentration cumuler entre les bâtiments.

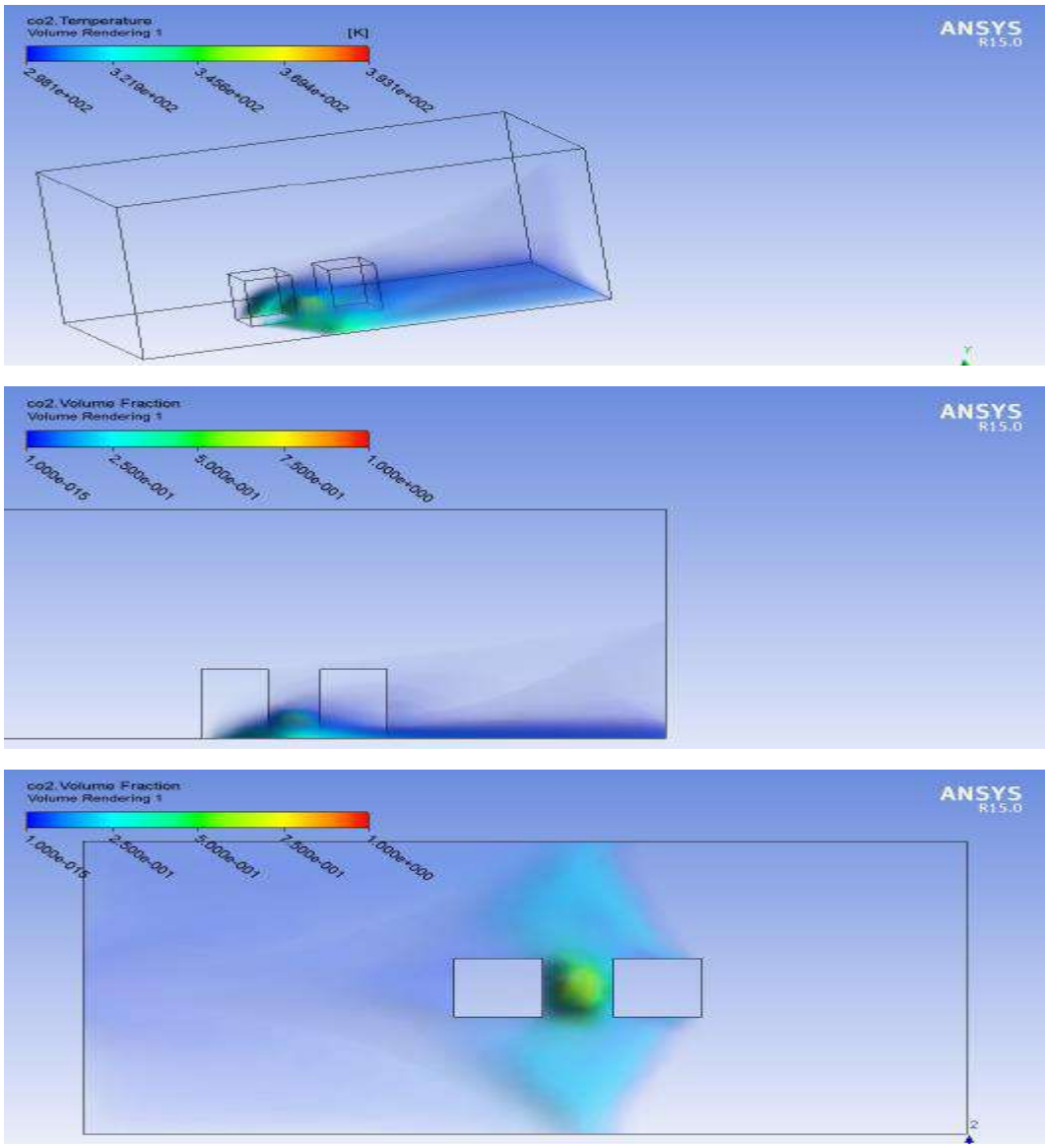


Figure IV-14 : Contours de la variation de la fraction volumique dont la source est située entre les blocs.

IV.2.11 Evolution de la température :

La figure IV-15 représente la variation de la température en fonction du temps et la vitesse du vent. D'après la figure 11, on remarque que la température est devenue T= 380 K juste près de la source de CO_2 et cela est dû à la concentration de ce gaz qui est cumuler dans cette zone. Ensuite une variation équitable de la température dans les deux couloirs à gauche et à droite des deux bâtiments, à cause de la concentration de CO_2 qui traverse ces zones.

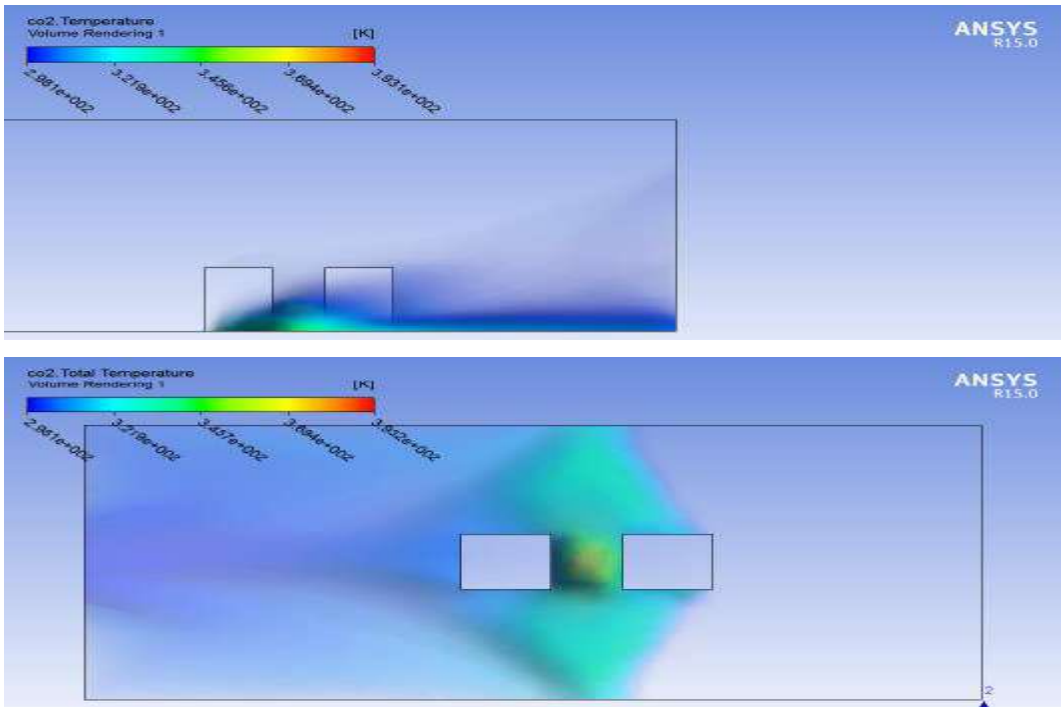


Figure IV-15 : Contours de la variation de la température dont la source est situé entre les blocs.

IV.2.12 Evolution de la vitesse :

La figure IV-16 représente la variation de la vitesse du vent dans l`ensemble du domaine étudier. D`après la figure on remarque que la vitesse atteint son maximum devant le début du domaine d`étude V= 5 m / s, ensuite une diminution remarquable de la vitesse partager par la source émettrice de CO_2 et les deux bâtiments en fonction de la distance parcourue V= 3 m /s.

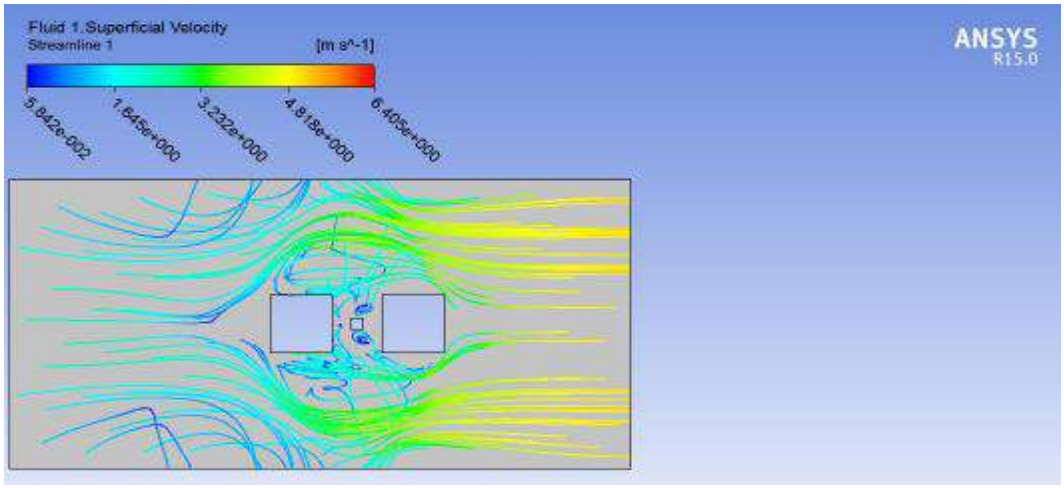


Figure IV-16 : Les lignes de courant dont la source est située entre les blocs.

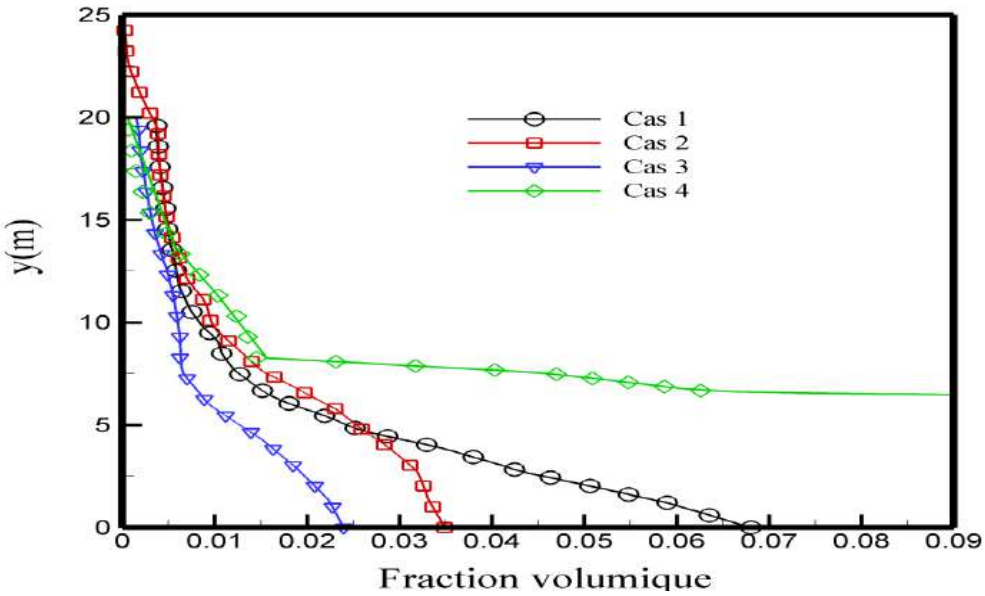


Figure IV-17 :L'évolution de la fraction volumique en fonction de la hauteur y pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs).

A partir de la courbe IV-17 on remarque que la grande concentration de CO_2 , située entre les deux blocs . Donc Plus la distance est petite plus la fraction volumique est importante.

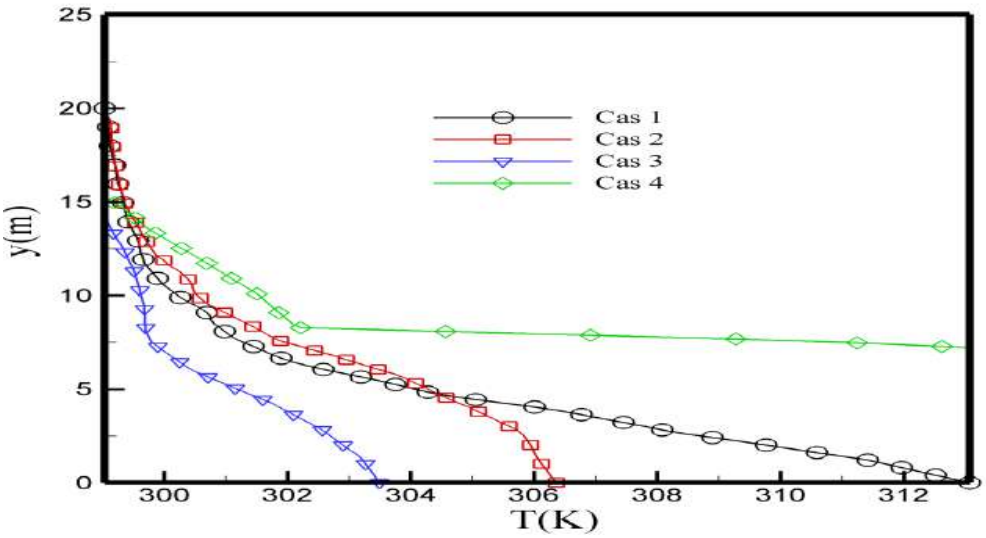


Figure IV-18 :L'évolution de la température en fonction de la hauteur *y* pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs).

D'après la courbe de la figure IV-18 on conclure que il existe une relation inverse entre l'évolution de la température et la hauteur y pour les différents cas ,

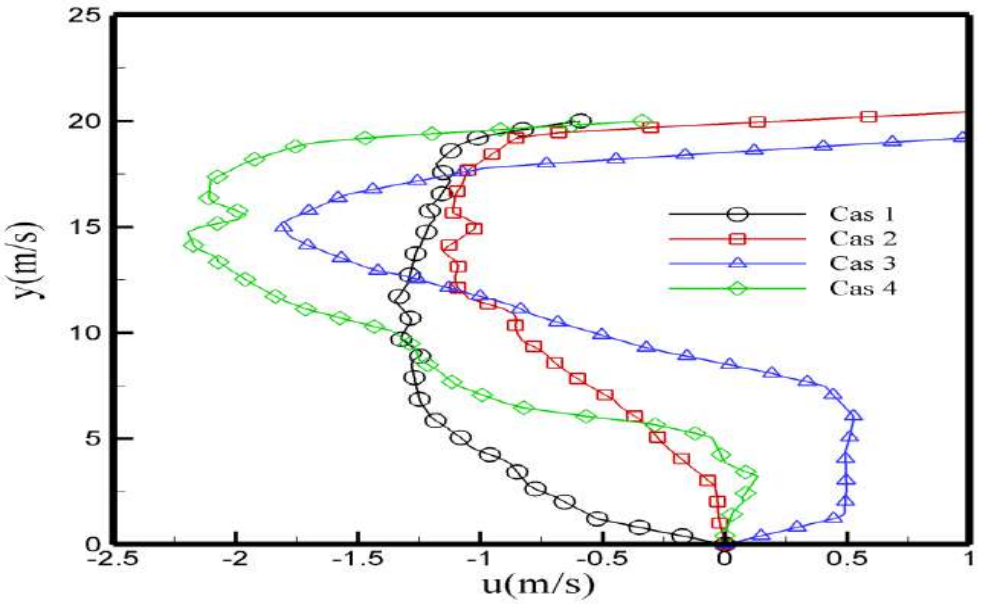


Figure IV-19 : L'évolution de la vitesse u en fonction de la hauteur y pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs).

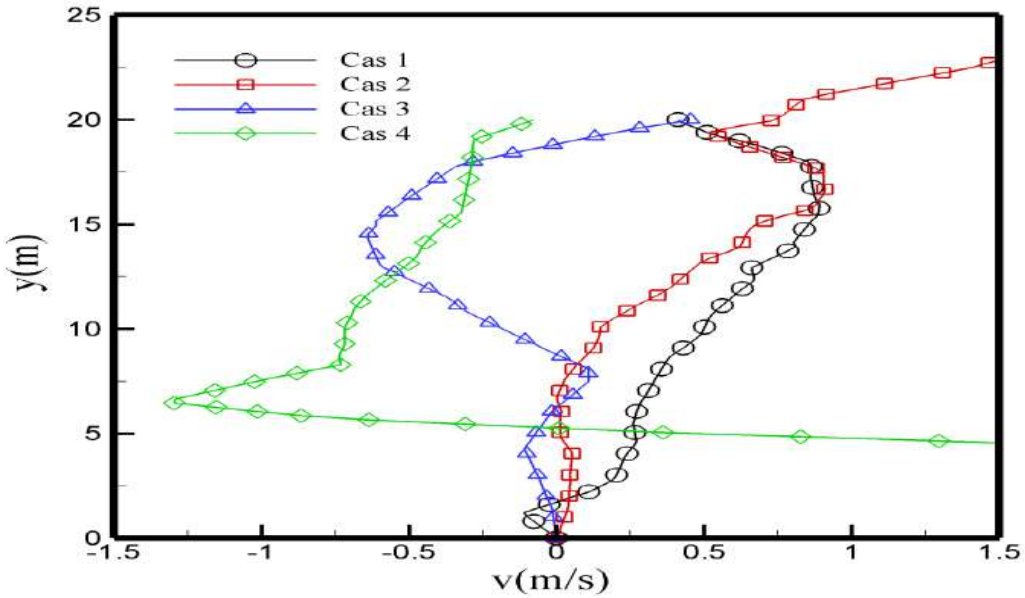


Figure IV-20 : L'évolution de la vitesse v en fonction de la hauteur y pour les différents cas (4m, 8m, 16, entre les deux blocs).

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au cours de ce travail, nous avons discuté de plusieurs aspects concernant la dispersion des polluants dans l'atmosphère, d'une part, nous avons parlé du problème de pollution atmosphérique. Celui -ci est dû aux différents types de polluants émis des sources naturelles et anthropiques ayant des effets néfastes sur l'être humain et son environnement.
Pour contrer ces problèmes plusieurs organisations ont imposé des contrôles et des normes standards, mais plusieurs de ces problèmes subsistent encore. De l'autre part, nous avons constaté que la dispersion est régie par les différents systèmes météorologiques couvrant tout le spectre des échelles de grandeurs.

Dans notre pratique on a utilisé logicielle ANSYS pour étudier la dispersion du polluant gazeux CO_2 dans un milieu urbain , selon des différents distance entre la source et les deux blocs .

D'après l'analyse on déduire que:

1-La variation de la quantité de la fraction volumique de CO2 dépende de :

- La distance entre la source de CO2 et le bloc, des que la distance est courte entre les deux, la quantité de la fraction volumique CO2 est immense (relations inverse).
- Aussi la distribution de la fraction volumique correspond de la vitesse d'entrée de l'écoulement de l'air.
- La concentration de CO2 stagné dans la zone, donc y a une relation proportionnelle entre la concentration de CO2 et la température.

2- Pas des variations de la vitesse de vent avec le changement de la distance entre la source de CO2 et le bloc.

3-La vitesse de vent induit une diminution de la concentration de CO2.

Finalement le problème multidisciplinaire qui requière l'effort des chercheurs scientifiques, d'ingénieures, d'agence de protection environnementale et des politiciens.

On a proposé des recommandations suivantes :

- anticiper, accélérer et étendre le plan d'action gouvernemental ;
- réglementer de manière plus contraignante les sources mobiles ;
- infléchir les émissions de CO2 ;
- Donner une priorité aux mesures permettant de réduire les expositions ;

- Fixer des objectifs quantifiés de réduction de la pollution atmosphérique et des expositions ;
- Mieux prendre en compte les particules dans l'élaboration des stratégies de réduction de la pollution atmosphérique ;.
- Evaluer l'impact des mesures de réduction de la pollution atmosphérique sur la santé ;
- Renforcer les actions destinées à améliorer l'éducation, la formation et l'information du public.

Bibliographie :

[1] ABED Bouabdelah 2017 thèse de doctorat .transport et dispersion des polluants dans une rue canyon .université d'Oron .

[2] Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 (Melquiot, 2004).

[3] Celle du parlement français proposée par la loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) *(loi n°96-1236 du 30 décembre 1996).*

[4] US Environmental Protection Agency. http : //www.epa.gov/.

[5] Stull, R.B, 1988. An introduction to boundary layer meteorology, Kluwer Acad. Publ.

[6] Stéphane Glockner, 2000. Thèse de doctorat. Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes. L'université bordeaux I, décembre.

[7] Maya milliez.2006.Thèse doctorat de l'école national des ponts et chausses .Modélisation mécro-météorologique en milieu urbain .

[8] Modelling air quality in street canyons : a review Sotiris Vardoulakis, Bernard E.A. Fisher, Koulis Pericleous, Norbert Gonzalez-Flesca (2003).

[9] Le calcul numérique des écoulements turbulents ; Launder et spalding (1972).

[10] Launder et Spalding (1974). Imperial College of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering, Exhibition Road, London

[11] Yakhot & Smith,1992. Development of Turbulence Models for Shear Flows by a Double Expansion technique.

[12] MASSINISSA DJERROUD identification numérique des paramètres d'amélioration des performances d'une pompe centrifuge Université du Québec juin 2011.

[13] Djaafar fedala simulation numérique des écoulements internes dans les turbomachines , laboratoire d'énergétique et de mécanique des fluides internes ENASAM,CER de paris octobre 2007.

[14] KHEMISSAT Abderazek étude numérique de l'écoulement du vent dans une rue à bloc orientés , Mémoire de master , université yahia fares promotion 2013 .