REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Etude de la dispersion des gaz issus d'un foyer d'incendie mobile, application dans un tunnel tertiaire

---

Présenté par

CHATRI Imad

DJAZIRI Elyassaa

Proposé et Dirigé par

Mme. BRAHIM BELHOUARI Ratiba

Dr. ZIRARI Mounir

Promotion Juin 2022

ملخص :

إن أكثر ما يثير مخاوف الركاب و السائقين في الطرقات و السكك الحديدية هي الحرائق التي تحدث داخل الأنفاق و لذلك سنعالج في عملنا هذا مشكلة اندلاع حريق داخل نفق و ذلك باستخدام برنامج (ANSYS APDL) للمحاكاة ، و نبحث عن سبل لإجلاء الدخان و الغازات الملوثة التي تسد المداخل و المخارج و كذا للتقليل من درجة الحرارة داخل النفق و هذا لضمان التهوية المثلى للبيئة التحتية بأكملها و السماح بالإخلاء الآمن لجميع الاشخاص.

كلمات مفتاحية : تشتت، ملوث، حريق، نفق، محاكاة رقمية، عنصر محدود، سائل قابل للامتزاج، التدفق ثنائي الطور، نمذجة، CFD.

Résumé :

En sécurité ferroviaire ou routier, l'événement redouté est l'incendie sur un train immobilisé ou véhicule en tunnel. La problématique est complexe car la géométrie confinée (station) offre de nombreuses ouvertures et sorties possibles aux fumées. De plus, les protocoles de désenfumage doivent être parfaitement anticipés afin d'ensemble des personnes.

De fumées issues d'un foyer d'incendie au sein d'une station souterraine de métropolitain, en présence d'accès passagers et d'une ventilation mécanique forcée, constitue l'objectif principal de ce travail. Ainsi dans l'évaluation de la sécurité dans les tunnels existants , une attention particulière devrait être portée aux changements de l'environnement du tunnel (volume et composition du trafic , transport des marchandises dangereuses , travaux de construction aux abords , etc.) que peuvent également conduire à la nécessité de mesures d'amélioration , c'est dans ce contexte que nous proposons cette étude par voix d'expériences numériques réalise en utilisant des modèles mathématiques basé sue le concept d'écoulement bi phasique des fluides miscible conjugué (thermique et dynamique) .

Mots clés : Dispersion, Polluant, Incendie, Tunnel, Simulation numérique, Eléments finis, Fluide miscible, Ecoulement diphasique, Modélisation, CFD.

Abstract :

In rail or road safety, the feared event is a fire on an immobilized train or vehicle in a tunnel. The issue is complex because the confined geometry (station) offers many possible openings and exits for the fume. In addition, the smoke extraction protocols must be perfectly anticipated in order to ensure optimal ventilation of the entire infrastructure and to allow the safe evacuation of all people.

Smoke from a fire in an underground metro station, in the presence of passenger access and forced mechanical ventilation, is the main objective of this work. Thus in the assessment of safety in existing tunnels, particular attention should be paid to changes in the environment of the tunnel (volume and composition of traffic, transport of dangerous goods, construction works in the vicinity, etc.) which may also lead to the need for improvement measures, it is in this context that we propose this study by voice of numerical experiments carried out using mathematical models based on the concept of biphasic flow of conjugate miscible fluids (thermal and dynamic) .

Keywords : Dispersion, Pollutant, Fire, Tunnel, Numerical simulation, Finite element, Miscible fluide, Two-phase flow, Modeling, CFD

Remerciement :

Nous remercions Dieu avant tout de nous avoir donné l'occasion de présenter cet humble travail. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. ZIRARI Mounir pour nous soutenir depuis si longtemps et nous aider sans relâche malgré sa mission quotidienne non-stop. Nous remercions également notre promotrice Mme. BRAHIM BELHOUARY Ratiba de nous avoir suivi et de nous avoir aidé à mener à bien ce travail.

Nous tenons également à remercier tous les professeurs qui nous ont éclairés sur le chemin de la science. Nous tenons à les remercier pour les connaissances qu'ils ont toujours su nous transmettre et pour leur présence dans la réalisation de ce travail, notre bonheur est de soyez vos élèves.

Nos sincères remerciements à nos chers parents qui rêvaient même de nous monter à l'étrier sans oublier nos collègues qui, par leurs suggestions et leur attitude humoristique et sérieuse, ont grandement facilité notre travail. Nous espérons au final que notre travail satisfera les membres du jury avec l'acceptation de leur évaluation qui nous fait plaisir.

Dédicace :

Je dédie cet humble travail à ma chère Famille.

A mes chers parents qui m'éclairent depuis que j'ai ouvert les yeux Dans ce monde

A la seconde moitié de mon Cœur , mon petit frère Taha yassine .

A ma chère sœur Meriem el-batoul .

A mes frère Monder et Adam

Et à toute la famille CHATRI

Un cadeau spécial pour ma collègue dans ce travail mon amie Elyassaa DJAZIRI

ET à tous mes amie et collègue sans Exception .

CHATRI Imad



Dédicace :

Avant tout , je remercie Dieu de nous avoir accordé le succès dans la réalisation de ce travail

Qui est le fruit de nos efforts.

Je dédie à l'âme de mon cher père , je le dédie à ma mère, qui a passé la nuit

A prier pour nous

Je dédie à mon honorable famille de mes frères et sœurs, je le dédie aux amis du chemin Imad , Ayoub , Nabil , Anwar , Ahmed , Ibrahim

Et à tous les étudiants du département énergétique et je dédie à tous les professeurs

Et enseignants et à tous ceux qui ont eu un bel impact sur moi ma vie .



DJAZIRI Elyassaa

Sommaire :

ملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale : 2

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET POSITIONNEMENT DE PROBLEME 4

I.1. Problématique d'incendie en station : 8

I.1.1. Le foyer : 8

I.1.2. Le confinement : 9

I.1.3. La ventilation : 9

I.2. Source de pollution et de différents polluants : 10

I.2.1. Les sources naturelles : 11

I.2.2. Les sources dues aux activités industrielles : 11

I.3. Les effets de la Pollution de l'air : 15

I.3.1. Les Effets des polluants sur le cadre bâti : 16

I.3.2. Les Effets des polluants sur l'environnement : 16

I.4. Jet dans un écoulement traversier : 16

I.4.1. Généralités : 16

I.4.2. Aspects stationnaires : 18

1.4.3. Aspects instationnaires : 23

I.5. Conclusion : 24

CHAPITRE II : ETUDE MATHEMATIQUES 25

II.1. Introduction : 26

II.2. Modélisation de la turbulence : 26

II.3. Equations mathématiques : 26

II.3.1. Equation de continuité : 26

II.3.2. Equation de bilan de l'énergie : 28

II.3.3. Equation de Navier-Stokes : 28

II.3.4. L'équation de diffusion : 29

II.3.5. Equation de conservation de quantité de mouvement : 30

II.3.6. Equation de conservation des espèces : 30

II.3.7. Equation de conservation des espèces : 31

CHAPITRE III : PROCEDURE DE LA SIMULATION NUMERIQUE 32

III.1. Introduction : 33

III.2. Logiciel ANSYS (APDL) : 33

III.3. Les méthode numérique : 33
III.3.1. La méthode des différences finies : 33
III.3.2. La méthode des éléments finis : 34
III.3.3. La méthode des volumes finis : 34
III.3.4. Présentation de la méthode : 35
III.4. Méthode de Résolution des équations par éléments finis : 35
III.4.1. Introduction : 35
III.4.2. Misse en œuvre de la méthode des éléments finis : 36
III.4.3. Forme générale des équations du système [10] : 36
III.5. Choix d'un maillage : 37
III.5.1. Discrétisation : 37
III.6. Conclusion : 41
CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION 42
IV.1. Introduction : 43
IV.2. Identification : 43
IV.3. Configuration d'étude : 44
IV.4. Création de la géométrie : 44
IV.5. Génération de maillage : 44
IV.6. Condition initial et condition aux limites : 46
IV.7. Description de l'écoulement : 46
IV.8. Cas référance : 51
IV.9. Simulation 1 (sans axes, ventilateur en amont) : 54
IV.10. Simulation 2 (sans axes, ventilateur en aval) : 56
IV.11. Simulation 3 (1 axe, ventilateur en amont) : 58
IV.12. Simulation 4 (1 axe, ventilateur en aval) : 61
IV.13. Simulation 5 (2 axes, ventilateur en amont) : 64
IV.14. Simulation 6 (2 axes, ventilateur en aval) : 67
IV.15. Comparison : 70
IV.15.1. Température : 70
IV.15.2. Concentration de Co2 : 72
IV.16. Conclusion : 74
Conclusion générale : 76
Bibliographie: 77

Liste des figures :

Figure I.1 : La structure de cet article est basée sur le cycle des polluants atmosphériques……**14**

Figure I.2 : Illustration du Jet In Cross Flow - issue de la publication de CAMBONIE et al…..**17**

Figure I.3 : Illustration des frontières du jet et des différents axes le caractérisant par BRIZZI.**19**

Figure I.4 : Profils de vitesse et de température pour deux valeurs du facteur r différentes d'après KAMOTANI & GREBER……**20**

Figure I.5 : Lignes caractéristiques issues de tests en eau avec une injection parabolique (pointillée) et carrée (trait plein) pour 4 valeurs du facteur r différents NEW et al……..**21**

Figure I.6 : Evolution spatiale du centre du jet défini par les vitesses - pour 4 valeurs du facteur J différents et pour 4 rapports H/D, d'après KAMOTANI & GREBER ……**23**

Figure I.7 : Structures tourbillonnaires types d'un JICF. Schéma d'après FRIC & ROSHKO.. **24**

Figure IV.1 : Présentation de la veine d'essais et ses dimensions……...…**43**

Figure IV.2 : Géométrie globale du domaine de calcul……..……**44**

Figure IV.3 : représentation de maillage du tunnel.....**45**

Figure IV.4 : Choix des conditions initiales et conditions aux limites.....**46**

Figure IV.5 : les champs moyens de composante de vitesse V.....**47**

Figure IV.6 : contour de la Pression.....**47**

Figure IV.7 : Représentation spatiale de la circulation de l'air.....**48**

Figure IV.8 : Configuration de test pour les profils de vitesse dans le tunnel amont.....**49**

Figure IV.9 : Profile de vitesse transversale dans le tunnel amont.....**49**

Figure IV.10 : Configuration de test pour les profils de vitesse dans le tunnel aval.....**50**
.
Figure IV.11 : Profil de vitesse transversale dans le tunnel aval.....**50**

Figure IV.12 : Représentation les points.....**52**

Figure IV.13 : Profil de température dans le tunnel.....**52**

Figure IV.14 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**53**

Figure IV.15 : Représentation les points.....**55**

Figure IV.16 : Profil de température dans le tunnel.....**55**

Figure IV.17 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**55**

Figure IV.18 : Représentation les points.....**57**

Figure IV.19 : Profil de température dans le tunnel.....**57**

Figure IV.20 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**57**

Figure IV.21 : Représentation les points.....**59**

Figure IV.22 : Profil de température dans le tunnel.....**59**

Figure IV.23 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**60**

Figure IV.24 : Représentation les point.....**62**

Figure IV.25 : Profil de température dans le tunnel.....**62**

Figure IV.26 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**63**

Figure IV.27 : Représentation les points.....**65**

Figure IV.28 : Profil de température dans le tunnel.....**66**

Figure IV.29 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**66**

Figure IV.30 : Représentation les points.....**68**

Figure IV.31 : Profil de température dans le tunnel.....**69**

Figure IV.32 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.....**69**

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Composition moléculaire et caractéristiques des principaux polluants de l'air…..**15**

Tableau I.2 : Présentation non exhaustive des équations des positions centrales du jet dans la Littérature……...**20**

Tableau III-1 : expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables…….**37**

Tableau IV.1 : propriétés de l'air et Co2……..**45**

Tableau IV.2 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps…….....**51**

Tableau IV.3 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps……..**54**

Tableau IV.4 : Représentation spatiale de la dispersion de la température et la pression et la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps……...**56**

Tableau IV.5 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps…….....**58**

Tableau IV.6 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps…….....**61**

Tableau IV.7 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps……..**64**

Tableau IV.8 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps…….....**67**

Tableau IV.9 : Comparaison de température dans le tunnel à chaque simulation dans chaque point……...**71**

Tableau IV.10 : Comparaison de concentration de Co2 dans le tunnel à chaque simulation dans Chaque point……...……...**73**

Nomenclatures :

Notation	Signification	Unit
$\vec{U}$	Vitesse d'une particule de fluide	[m/s]
T	temps	[s]
$\vec{V}$	Vecteur de vitesse	[m/s]
Ω(t)	Vitesse angulaire de rotation de la terre	
E	L'énergie totale	[J/kg1]
c	La chaleur massique	
T	Température	[C°]
K	Energie cinétique turbulente	[J/Kg]
$\breve{u}j, \breve{u}i$	Tension de Reynolds	
Ui, Uj	Composante de la vitesse	[m/s]
Cp	Chaleur spécifique à pression constante	[j/kg.K]

Symboles grecs

E	dissipation de l'énergie cinétique turbulente	[m²/s²]
λ	La conductivité thermique	[J/s.m.k]
μ	La viscosité dynamique	[Kg/m.s]
μ t	La viscosité dynamique turbulente	[Kg/m.s]
ρ	Masse volumique	[Kg /m3]
τ	Contrainte de cisaillement	[N /m²]
ϕ	Variables généralisée par unité de masse	

Espèces chimiques

SO2	Dioxyde de soufre
O2	Oxygène
CO2	Dioxyde de carbone

CO	Monoxyde de carbone
HC	Hydrocarbures
HO2	Radicaux hydropéroxyles
HNO3	Acide nitrique
NO	Monoxyde d’azote
NO2	Dioxyde d’azote
NOx	NO+NO2
O3	Ozone

Introduction générale

Introduction générale :

Les tunnels routiers sont de plus en plus construits dans le monde entier comme un moyen alternatif de réduire le temps de trajet et d'atténuer les embouteillages. Cependant, les émissions toxiques des véhicules, telles que le CO, les NOx et la fumée, peuvent facilement contaminer la qualité de l'air de l'environnement du tunnel fermé et entraîner des problèmes respiratoires dangereux pour les conducteurs et les navetteurs, en particulier lors d'événements de circulation intenses. La concentration de polluants dans les tunnels routiers dépend de facteurs qui déterminent les émissions des véhicules (par exemple, le volume de trafic, la vitesse, la qualité du carburant et la longueur du tunnel) et le taux de dilution (affecté par le système de ventilation du tunnel, le volume de trafic et la vitesse). Pour les tunnels à chaussée courte, l'effet de piston induit par les véhicules en mouvement peut faire entrer suffisamment d'air frais et évacuer suffisamment l'air vicié des tunnels. Alors que pour les tunnels routiers relativement longs, des approches de ventilation mécanique telles que des ventilateurs à réaction sont nécessaires en plus de l'effet piston pour éliminer les émissions des véhicules, en particulier pendant les heures de pointe avec des embouteillages.

Les incendies dans les stations de métro se sont produits fréquemment dans l'histoire, en particulier au cours des deux dernières décennies, lorsque le métro est devenu un système de transport majeur dans les zones métropolitaines.

Dans les incendies dans les stations de métro, la menace la plus immédiate pour la vie des passagers n'est pas l'exposition directe au feu, mais l'inhalation de fumée car elle contient de l'air chaud et des gaz toxiques. La compréhension des mécanismes à l'origine du mouvement des fumées est donc un enjeu important pour la sécurité incendie, et la confirmation de l'efficacité des systèmes de désenfumage dans les stations de métro est également une nécessité avant l'ouverture de la station au service public.

Le contrôle de la fumée est crucial en cas d'incendie ; plus précisément, par exemple, une fumée flottante peut se déplacer rapidement dans les cages d'escalier, bloquant les passages par lesquels les passagers sont censés évacuer.

Notons que, dans les incendies survenant dans une enceinte telle qu'une station de métro, un phénomène de convection naturelle nommé « effet de cheminée » peut jouer un rôle important dans les fumées.

Pour répondre à cette double problématique, il est le plus souvent fait appel aux techniques de ventilation. La ventilation est par ailleurs utilisée dans les processus de désenfumage en cas

d’incendie. Il s’agit donc souvent d’optimiser un système qui en mode courant assure une ventilation dite sanitaire et, en cas d’incendie, l’évacuation des fumées.

C'est dans ce contexte que nous allons mener notre étude. Nous étudions la dispersion de dioxyde de carbone à l'intérieur du tunnel en cas d'incendie a défirent paramètre (pression, vitesse, température...).

CHAPITRE : I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET POSITIONNEMENT DE PROBLEME

L'état de l'art :

Les objectifs de la ventilation dans les tunnels routiers sont de fournir aux conducteurs et aux passagers un approvisionnement suffisant en oxygène pour la respiration et de diluer les gaz toxiques émis par les véhicules à des concentrations sûres. Un certain nombre de recherches ont été effectuées pour l'étude et la simulation des modèles d'écoulement à l'intérieur des tunnels routiers à des fins différentes telles que la fumée et le panache thermique induits par les incendies, les explosions et, dans quelques cas, pour l'évaluation de la qualité de l'air . Chung et al. [1] ont modélisé numériquement l'écoulement turbulent et la dispersion des polluants dans un tunnel routier. Leurs résultats révèlent que les concentrations transversales de polluants atmosphériques ne sont pas uniformément réparties et que les concentrations augmentent proportionnellement à la distance en aval. Ashrafi et al. [2] ont simulé la dispersion de la pollution atmosphérique à l'intérieur des tunnels et ont obtenu la distribution spatiale des polluants atmosphériques pour évaluer l'efficacité de la ventilation, et ont obtenu un bon accord entre les données de modélisation et de mesure. Pendant ce temps, la pollution de l'air près des portails des tunnels routiers génère également des risques potentiels pour la santé des résidents vivant à proximité. Lopez Gonzalez et al. [3] ont analysé numériquement l'influence de l'effet piston dans le système de ventilation longitudinale des tunnels de métro en utilisant une technique de maillage dynamique. Ils ont quantifié différents paramètres influençant le système de ventilation du métro et ont abordé l'impact de l'effet piston sur les performances globales de ventilation. Migoya et al. [4] ont utilisé un modèle simple pour simuler un cas d'incendie dans des tunnels routiers et ont comparé ces résultats avec des résultats de modélisation 3D. Le modèle d'écoulement de fumée d'incendie a été résolu avec une équation turbulente conservatrice à 1 dimension, et une simulation 3D à grande échelle a été réalisée avec deux logiciels CFD, à savoir Fluent et Phoenix .En 2010 Wang et al. [5] ont démontré que la courbure d'un tunnel affecte grandement le champ d'écoulement d'air à l'intérieur du tunnel ; ils ont également examiné diverses positions transversales des ventilateurs à réaction et leur effet sur le champ d'écoulement d'air. Ils ont montré que le flux d'air des ventilateurs à jet se propage plus rapidement lorsque la distance entre les ventilateurs à jet et le plafond augmente. Il a également été constaté qu'une distance plus longue est nécessaire pour que les jets se développent lorsque les ventilateurs sont soit plus proches les uns des autres, soit proches de la paroi du tunnel. Quant à la variation de pression, ont constaté que la distance nécessaire pour que la montée en pression soit complète est d'environ 90 à 120 m ; par conséquent, la distance longitudinale optimale entre deux ventilateurs à jet est de 90 à 120 m. De plus, en 2011, Wang et al [6] ont

étudié l'effet d'un véhicule en mouvement sur le champ d'écoulement d'air dans des tunnels courbes et droits.

Les tunnels avaient une longueur de 200 m et une section transversale de 68,55 m2 mais avec des rayons de courbure différents. Ils ont montré qu'à mesure que la courbure du tunnel augmente, la pression chute également.

En 2013, Hu et al. [7] des études expérimentales ont été menées afin de déterminer la température maximale des gaz dans un tunnel avec un feu et un blocage de véhicules à différentes distances vers celui-ci. Ils ont montré que contrairement à la condition où le blocage est situé au niveau du feu en amont, lorsqu'il est en aval, il n'a pas d'impact sur la température maximale. Bari et Naser [8] ont étudié la dispersion du CO, du CO2 et de l'O2 à l'intérieur d'un tunnel avec un véhicule en feu lorsque les voitures dans les embouteillages émettent des polluants et que les ventilateurs à réaction fonctionnent. Ils ont montré qu'après environ 8 min, le niveau de pollution dépasse le niveau admissible. Ils ont également analysé l'efficacité des performances des ventilateurs à réaction pour éliminer la pollution émise par les véhicules dans des conditions d'embouteillage sévères, et ont également montré que l'absence de ventilateurs à réaction constituera une menace pour la santé des passagers et des chauffeurs. Costantino et al. [9] (2013) ont utilisé la méthode de Froude pour modéliser un tunnel routier à échelle réduite ; modélisant à la fois un tunnel réel et à échelle réduite équipé de ventilateurs à jet, ils ont étudié les impacts de la hauteur de rugosité du plafond et du sol sur le champ de vitesse à l'intérieur du tunnel, ce qui peut être utile pour le futur appareil expérimental. Kim et Kim [10] ont étudié les variations de pression et de vitesse de l'air avec le temps en menant des analyses expérimentales et numériques. [11] ont également découvert que les performances de ventilation sont influencées par l'emplacement de la gaine d'évent et que l'emplacement optimal de la gaine d'évent maximisant les performances de ventilation doit être proche de la station. Tang et al. [12] ont étudié expérimentalement les impacts d'un blocage véhiculaire situé dans le feu en amont sur le phénomène de contre-couche ainsi que la vitesse critique dans un tunnel ventilé longitudinalement. Ils ont conclu qu'au début, une augmentation de la distance entre le feu et le blocage entraîne une réduction à la fois de la longueur de la stratification arrière et de la vitesse critique, puis progressivement leurs valeurs se rapprochent d'une constante, les mêmes valeurs que la condition avec pas de blocage. Eftekarian et al.[13] ont étudié les performances des ventilateurs à jet banane et traditionnels dans les embouteillages dans un tunnel urbain et ils ont démontré que dans les embouteillages, les deux types de ventilateurs à réaction induisent presque un débit volumique identique dans le tunnel ; de plus, ils ont effectué les impacts du vent

défavorable sur le débit volumétrique du tunnel et il a été montré qu'à cet égard, les résultats prédits par la simulation CFD présentent une différence remarquable avec ceux de la conception technique. Ingason et LI. [14] utilisent le bois pour simuler un incendie de camions en tunnel (basé sur le nombre de Froude). Les avantages de ce combustible est qu'il est peu coûteux et facile à mettre en œuvre, mais la maîtrise d'un tel matériau est compliquée, notamment de par la teneur en humidité du bois qui peut influer sur la combustion . Lea [15] a utilisé trois modèles informatiques pour étudier les effets d'un incendie dans une mine britannique en employant des techniques de courant de gravité unidimensionnel pour mesurer l'écoulement stratifié jusqu'à la rupture. La modélisation numérique multidimensionnelle de la dynamique des fluides est utilisée pour examiner de manière approfondie l'écoulement proche du feu. Les résultats du modèle sont en accord entre eux et mettent en évidence une éventuelle mesure d'atténuation pour limiter la propagation des produits de combustion. Les progrès récents de la biotechnologie pour lutter contre les risques d'incendie, la pollution de l'eau et de l'air dans les mines ont encore un long chemin à parcourir. Jusqu'à présent, les progrès se limitent au développement matériel uniquement. La résolution de problèmes avec des techniques physico-chimiques classiques est pratiquement dans une impasse. Braun [16] a examiné les méthodes d'essai et les données d'incidents pour les incendies liés aux câbles électriques portables dans les mines de charbon souterraines. Les données d'incident ont indiqué que la configuration groupée des câbles sur une bobine représentait la majorité des incendies depuis 1970. Burnett [17] a examiné les problèmes complexes d'incendie et de sécurité suivants : la combustibilité et la toxicité des matériaux de construction des wagons de transport en commun, la ventilation d'urgence du tunnel, les considérations d'évacuation d'urgence du tunnel, les communications, l'équipement respiratoire et la mobilité. Keski-Rahkonen et al. [18] ont mené deux expériences pilotes d'incendie à grande échelle dans un tunnel. Le premier a été conçu pour simuler un incendie dans une rame de métro bloquée dans un tunnel. La seconde simulait le cas d'une file de voitures qui avait pris feu dans un tunnel.

I.1. Problématique d'incendie en station :

Le problème des incendies dans les gares et les tunnels était un sujet particulier de tous les partenaires impliqués (pouvoirs publics, industriels, opérateurs, universitaires) et dans une optique de planification les études sur le développement des incendies dans les gares et les tunnels reposent sur les points suivants :

1. Source d'incendie (foyer).
2. Le confinement, c'est-à-dire l'environnement physique et les conditions aux limites
   Zones géométriques dans lesquelles le feu se développe.
3. La ventilation, qui peut être naturelle ou souvent par un système Mécanique.

I.1.1. Le foyer :

Il est possible d'observer à travers la littérature scientifique, abondante sur ce sujet, que pour modéliser un incendie, il existe de nombreux systèmes se déclinant en deux catégories majeures : ceux basés sur une approche avec combustion, représentatives de la réalité mais produisant de nombreuses suies et des températures très élevées et ceux issus d'une approche sans combustion, négligeant les aspects réactionnels et radiatifs d'une flamme mais permettant une approche simplifiée.

L'une des modélisations les plus utilisées dans le domaine de la combustion est la piscine de combustible liquide. De tels dispositifs sont souvent pris comme sources car la taille, le volume et surtout les caractéristiques du combustible sont assez bien connus.

Par exemple, Hu et al. [7] des études expérimentales ont été menées afin de déterminer la température maximale des gaz dans un tunnel avec un feu et un blocage de véhicules à différentes distances vers celui-ci.

INGASON & LI [14] utilisent le bois pour simuler un incendie de camions en tunnel (basé sur le nombre de Froude). Les avantages de ce combustible est qu'il est peu coûteux et facile à mettre en œuvre, mais la maîtrise d'un tel matériau est compliquée, notamment de par la teneur en humidité du bois qui peut influer sur la combustion. Braun [16] a examiné les méthodes d'essai et les données d'incidents pour les incendies liés aux câbles électriques portables dans les mines de charbon souterraines. Les données d'incident ont indiqué que la configuration groupée des câbles sur une bobine représentait la majorité des incendies depuis 1970.

Burnett [17] a examiné les problèmes complexes d'incendie et de sécurité suivants : la combustibilité et la toxicité des matériaux de construction des wagons de transport en commun, la ventilation d'urgence du tunnel, les considérations d'évacuation d'urgence du tunnel, les communications, l'équipement respiratoire et la mobilité.

I.1.2. Le confinement :

Le deuxième point lié à notre étude est le confinement de l'incendie, car on dit que le bâtiment est encerclé si sa taille est beaucoup plus grande par rapport à la taille de la pièce la plus proche si son efficacité est élevée par rapport à la taille de l'étude keski-Rahkonen et al. [18] ont mené deux expériences pilotes d'incendie à grande échelle dans un tunnel. Le premier a été conçu pour simuler un incendie dans une rame de métro bloquée dans un tunnel. La seconde simulait le cas d'une file de voitures qui avait pris feu dans un tunnel.

Lea [15] a utilisé trois modèles informatiques pour étudier les effets d'un incendie dans une mine britannique en employant des techniques de courant de gravité unidimensionnel pour mesurer l'écoulement stratifié jusqu'à la rupture. La modélisation numérique multidimensionnelle de la dynamique des fluides est utilisée pour examiner de manière approfondie l'écoulement proche du feu. Les résultats du modèle sont en accord entre eux et mettent en évidence une éventuelle mesure d'atténuation pour limiter la propagation des produits de combustion.

Les progrès récents de la biotechnologie pour lutter contre les risques d'incendie, la pollution de l'eau et de l'air dans les mines ont encore un long chemin à parcourir. Jusqu'à présent, les progrès se limitent au développement matériel uniquement.

La résolution de problèmes avec des techniques physico-chimiques classiques est pratiquement dans une impasse.

I.1.3. La ventilation :

Les travaux portant sur un milieu semi-confiné et ventilé de manière forcée concernent Majoritairement les cas typiques des tunnels. Lopez Gonzalez et al. [3] ont analysé numériquement l'influence de l'effet piston dans le système de ventilation longitudinale des tunnels de métro en utilisant une technique de maillage dynamique. Ils ont quantifié différents paramètres influençant le système de ventilation du métro et ont abordé l'impact de l'effet piston sur les performances globales de ventilation. Wang et al. [5] ont démontré que la courbure d'un tunnel affecte grandement le champ d'écoulement d'air à l'intérieur du tunnel ; ils ont également examiné diverses positions transversales des ventilateurs à réaction et leur effet sur le champ

d'écoulement d'air. Ils ont montré que le flux d'air des ventilateurs à jet se propage plus rapidement lorsque la distance entre les ventilateurs à jet et le plafond augmente. Il a également été constaté qu'une distance plus longue est nécessaire pour que les jets se développent lorsque les ventilateurs sont soit plus proches les uns des autres, soit proches de la paroi du tunnel. Quant à la variation de pression, ont constaté que la distance nécessaire pour que la montée en pression soit complète est d'environ 90 à 120 m ; par conséquent, la distance longitudinale optimale entre deux ventilateurs à jet est de 90 à 120 m. De plus.

En 2011, Wang et al. [6] ont étudié l'effet d'un véhicule en mouvement sur le champ d'écoulement d'air dans des tunnels courbes et droits. Les tunnels avaient une longueur de 200 m et une section transversale de 68,55 m2 mais avec des rayons de courbure différents. Ils ont montré qu'à mesure que la courbure du tunnel augmente, la pression chute également. Costantino et al. [9] (2013) ont utilisé la méthode de Froude pour modéliser un tunnel routier à échelle réduite ; modélisant à la fois un tunnel réel et à échelle réduite équipé de ventilateurs à jet, ils ont étudié les impacts de la hauteur de rugosité du plafond et du sol sur le champ de vitesse à l'intérieur du tunnel, ce qui peut être utile pour le futur appareil expérimental.

Kim et Kim [9] ont étudié les variations de pression et de vitesse de l'air avec le temps en menant des analyses expérimentales et numériques. Ont également découvert que les performances de ventilation sont influencées par l'emplacement de la gaine d'évent et que l'emplacement optimal de la gaine d'évent maximisant les performances de ventilation doit être proche de la station. Eftekarian et al. [13] ont étudié les performances des ventilateurs à jet banane et traditionnels dans les embouteillages dans un tunnel urbain et ils ont démontré que dans les embouteillages, les deux types de ventilateurs à réaction induisent presque un débit volumique identique dans le tunnel ; de plus, ils ont effectué les impacts du vent défavorable sur le débit volumétrique du tunnel et il a été montré qu'à cet égard, les résultats prédits par la simulation CFD présentent une différence remarquable avec ceux de la conception technique .

I.2. Source de pollution et de différents polluants :

Il existe de nombreuses sources de pollution aux causes multiples, car elles peuvent être d'origine naturelle, qui sont émises par les volcans, les océans, le couvert végétal...etc, ou d'origine humaine. Elles sont le résultat d'activités et de réalisations humaines (usine vapeurs et fumées, feux de forêts, ordures ménagères, matières plastiques et autres).

I.2.1. Les sources naturelles :

Les matières particulaires naturelles comprennent la poussière de la surface de la terre (matériau crustal), le sel marin dans les zones côtières et le matériel biologique, sous forme de Pollen, de spores ou de débris végétaux et animaux. Les éruptions volcaniques peuvent introduire des quantités très importantes de gaz et de particules dans l'atmosphère. Par exemple, le volcan Etna émet 3 000 tonnes de dioxyde de soufre (SO2) en moyenne par jour et jusqu'à 10 000 tonnes pendant les périodes de grande activité. Lors des éruptions cataclysmiques du Tambora en 1815 en Indonésie, 100 milliards de tonnes de produits volcaniques ont été éjectés dans l'atmosphère, dont 300 millions de tonnes ont atteint la stratosphère, ce qui a entraîné une chute de température moyenne de ~0,7°C sur l'ensemble de la Terre. Dans certaines zones rurales, les incendies de forêt périodiques produisent de grandes quantités de PM. Les autres sources naturelles de pollution de l'air comprennent : les éclairs, qui produisent des quantités importantes d'oxydes d'azote (NOx) ; les algues à la surface des océans, qui émettent du sulfure d'hydrogène (H2S) ; l'érosion éolienne, qui introduit des particules dans l'atmosphère ; et les zones humides, comme les marécages, les tourbières ou les lacs peu profonds, qui produisent du méthane (CH4). De faibles concentrations d'O3 se produisent naturellement au niveau du sol, formé en présence de la lumière du soleil par des réactions entre les NOx et les composés organiques volatils (VOCs) [19].

I.2.2. Les sources dues aux activités industrielles :

Les activités industrielles de l'homme ont engendré plusieurs déchets qui ont eu un impact significatif sur la détérioration de l'environnement. La majeure partie de la pollution de l'air provient de sources artificielles. Ces sources sont soit mobiles, comme les voitures, les avions et les trains, soit fixes, comme les usines, les stations d'électricité et d'essence.

A ce jour, le trafic routier constitue la principale source de pollution de l'air dans les grandes villes des pays industrialisés. La combustion de combustibles carbonés (charbon, fioul, bois, gaz naturel) n'est jamais complète et produit du monoxyde de carbone (CO) et des hydrocarbures. Les NOx résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air provenant de la combustion des carburants fossiles contenus dans le carburant à haute température.

Les activités humaines ont augmenté la quantité de COV due au pétrole, aux industries chimiques et aux transports, et de NOx provenant de la combustion dans les centrales électriques et les automobiles. Par conséquent, l'O3 est plus concentré et plus de smog se produit dans les

régions densément peuplées et industrielles. Les activités humaines contribuent aux PM ambiantes totales. En milieu urbain, les particules proviennent principalement de la combustion de sources mobiles et fixes. Le charbon et le soufre des fiouls s'oxydent en SO2. Ce sont des combustibles qui sont utilisés pour se déplacer, se réchauffer et apporter l'énergie nécessaire aux nombreux processus industriels. De plus, l'industrie produit certains polluants spécifiques sous forme de déchets, tels que les dérivés du fluor ou l'aluminium.

Le traitement du minerai libère des métaux « lourds », comme le cadmium, le zinc et le plomb. Le mercure est produit par l'incinération des ordures ménagères. L'agriculture, par l'utilisation des engrais azotés, génère du monoxyde d'azote (N2O), un gaz à effet de serre, et de l'ammoniac (NH3), qui participent aux processus d'acidification. [20]

I.2.2.1. Les principaux polluants et leurs sources :

- **Le dioxyde de soufre (SO2) :**

Le dioxyde de soufre (SO2) est un gaz polluant. Ce gaz incolore est produit par la combustion de combustibles fossiles, notamment le charbon, le pétrole et le gaz, et bien que nous ne puissions pas le voir à l'œil nu, il est diffus et présente un danger pour la santé humaine et affecte négativement la pureté de l'air.

- **Les oxydes d'azote (NO et NO2) :**

Les oxydes d'azote sont produits par la combustion et jouent un rôle important sur la planète. Ce sont des gaz toxiques qui ont de nombreux effets négatifs sur l'environnement et sur la santé humaine. Les oxydes d'azote créent du smog qui peut être facilement observé dans les villes pendant l'été, où les rayons ultraviolets entrants les rayons agissent du soleil pour décomposer les molécules qui composent les oxydes d'azote et forment l'ozone, qui est un polluant dangereux à la surface de la terre.

- **Particules :**

Les particules sont définies comme les particules transportées dans l'air par des particules solides ou liquides qui lui sont émises par de nombreuses sources de tailles, de formes et de couleurs différentes et de composition chimique différente. Les particules sont produites soit à partir de sources naturelles, soit à partir de diverses activités humaines. Tout comme la composition chimique des particules polluantes de l'air joue un rôle majeur dans les effets

résultant de l'évolution des cycles environnementaux, la taille des particules est d'une grande importance, car elle détermine le chemin et l'impact des particules sur les humains, les animaux, les plantes et les objets inanimés. . La taille des particules polluantes de l'air varie de 0,0001 à 500 micromètres, et ces particules peuvent rester en suspension dans l'air pendant une durée allant de quelques secondes à plusieurs années

- **métaux lourds :**

Chaque minéral a la capacité d'affecter le corps d'une certaine manière, et bien que certains minéraux profitent au corps d'une certaine manière, certains peuvent finir par l'endommager. Des niveaux malsains de métaux lourds dans le corps peuvent entraîner un empoisonnement aux métaux lourds .non traité, il peut entraîner un empoisonnement aux métaux lourds pouvant entraîner la mort ou des dommages permanents à l'organisme. Certains métaux lourds courants comprennent l'arsenic, le cadmium, le mercure, le cuivre et le chrome.

- **Les composés organiques volatils :**

(COV de composés organiques volatils) sont des produits chimiques organiques à haute pression de vapeur qui s'évaporent en grandes quantités et pénètrent dans l'atmosphère dans des conditions normales. Une large gamme de matériaux à base de carbone sont volatils, notamment les aldéhydes, les cétones et les hydrocarbures.

- **Le monoxyde de carbone :**

Egalement appelé monoxyde de carbone, est un gaz incolore, insipide et inodore. Il est produit à partir du processus d'oxydation partielle et de composés organiques tels que le charbon, et cela se produit lorsque l'oxygène est rare ou lors de la combustion à très haute température. Il est considéré comme l'un des gaz hautement toxiques, et c'est une forme de carbone, ainsi que certaines huiles et graisses provenant de machines et de véhicules.

- **Gaz ammoniac :**

Connu sous le nom d'ammoniac ou d'ammoniac, il est incolore et a une odeur piquante qui irrite les voies respiratoires et les yeux. Il existe à l'état gazeux, mais il peut être converti à l'état liquide en le soumettant à une certaine pression. Il n'est pas inflammable, mais il peut exploser si le récipient qui le contient est soumis à une forte pression.

- **Ozone et polluants photochimiques :**

L'ozone troposphérique est un gaz à effet de serre et peut contribuer au réchauffement climatique. Les réactions chimiques et photochimiques de la formation d'ozone sont L'origine de

nombreux processus chimiques qui se produisent dans la troposphère de nuit comme de jour. À des concentrations d'ozone troposphérique anormalement élevées (les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles sont les principales sources de ces concentrations), l'ozone troposphérique peut être considéré comme un gaz polluant et un composant du smog. Les niveaux d'ozone troposphérique ont augmenté de façon spectaculaire depuis la révolution industrielle, en raison des émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils comme sous-produits de la combustion. À mesure que la chaleur et la lumière du soleil augmentent pendant les mois d'été, davantage d'ozone se forme ; Cela explique pourquoi les niveaux de pollution sont élevés dans certaines régions pendant les mois d'été. Bien qu'il s'agisse de la même molécule, l'ozone troposphérique est nocif pour notre santé.

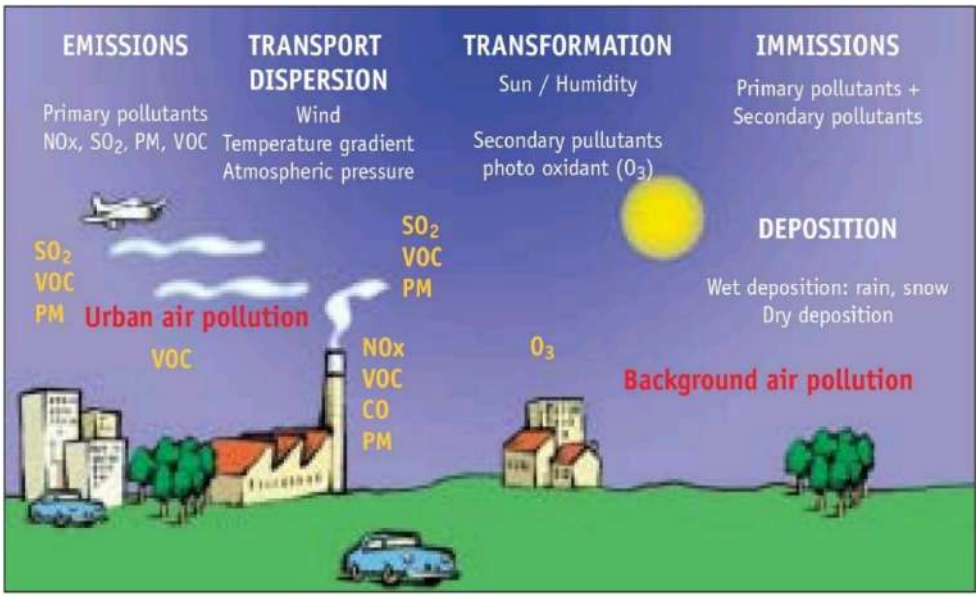


Figure I.1 : La structure de cet article est basée sur le cycle des polluants atmosphériques. [21]

On peut classer quelques polluants et ses caractéristiques suivant le tableau au-dessus :

Pollution	composition	Caractéristique
Anhydride Sulfureux	SO2	Incolore, gaz lourd, soluble dans l'eau avec une odeur irritante
Oxyde de Carbone	CO	Incolore, gaz inodore toxique, légèrement soluble dans l'eau.
ozone	O3	Gaz bleu pâle, soluble dans l'eau, instable, odeur douceâtre.
Oxydes d'azotes	NOX	Gaz brun rougeâtre légèrement soluble dans l'eau.
Les composés Organiques Volatiles	VOC	Ces composés parfois dotés d'un fort caractère odorant. Sont représentés par de nombreux composés : le butane, propane, acétylène, isoprène, benzène, le toluène, le méthanol, éthanol et les éthers.
Hydrogène Sulfureux	H2S	Gaz incolore avec une odeur repoussante « d'œufs pourris », légèrement soluble dans l'eau.
Oxyde nitrique	NO	Gaz incolore, légèrement soluble dans l'eau.
Plomb	Pb	Métallique, peut exister dans les composés chimiques variés avec différentes caractéristiques.
Mercure	Hg	Métallique, peut exister dans les composés chimiques variés (différentes caractéristiques).
Particule	Variable	Particules solides ou gouttelettes liquides incluant vapeurs, fumées, poussières et aérosols.
Hydrocarbures	Variable	Nombreux composés hydrogènent et de carbone
Fluore	Variable	Irritants, incolore, gaz solubles dans l'eau.

Tableau I.1 : Composition moléculaire et caractéristiques des principaux polluants de l'air
Source : (MACKENZI et al, 2000)

I.3. Les effets de la Pollution de l'air :

L'air est un élément important dans la vie humaine et nous ne pouvons vivre que quelques minutes sans lui, mais la pollution de l'air a des effets nombreux et dangereux, et affecte tous les organismes vivants, les personnes, les animaux et les plantes. Elle est responsable de problèmes de santé, tels que des maladies. Du système respiratoire, pulmonaire, cardiaque, cancer, irritation des yeux et peut accélérer la mort.

I.3.1. Les Effets des polluants sur le cadre bâti :

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments. [22]

I.3.2. Les Effets des polluants sur l'environnement :

D'après Kalaora « L'environnement s'inscrit d'abord dans une logique de rationalisation administrative et non dans une logique de participation et de communication écologique » (Kalaora, 1998, p.105). L'effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement est divers, par exemple les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Le dépérissement soudain constaté surtout depuis 1980 semble relever de causes tout à fait inhabituelles. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. En France, le programme DEFORPA (dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique) ainsi que des recherches en laboratoires, ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes telles que les sols de mauvaise qualité, sécheresse anormale, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. [22].

I.4. Jet dans un écoulement traversier :

I.4.1. Généralités :

La confrontation entre deux écoulements perpendiculaires, dénommée **J**et **I**n **C**ross **F**low (**JICF**), est une thématique largement étudiée depuis les années 1970, avec de nombreuses applications comme la dispersion des fumées à la sortie des cheminées industrielles (SAID et al. [23]), la décharge des eaux usées dans l'océan (MORTON & IBBETSON [24]), l'injection de fuel dans les moteurs (SCHLÜTER & SCHONFELD [25]) ou encore le principe du film-cooling pour le refroidissement (LALIZEL et al. [26]) et la protection des parois dans les réacteurs lors de la combustion. C'est donc la relation entre un jet et un écoulement traversier à deux masses volumiques différentes (ou non) qui est caractérisée, comme le montre la figure (1.2).

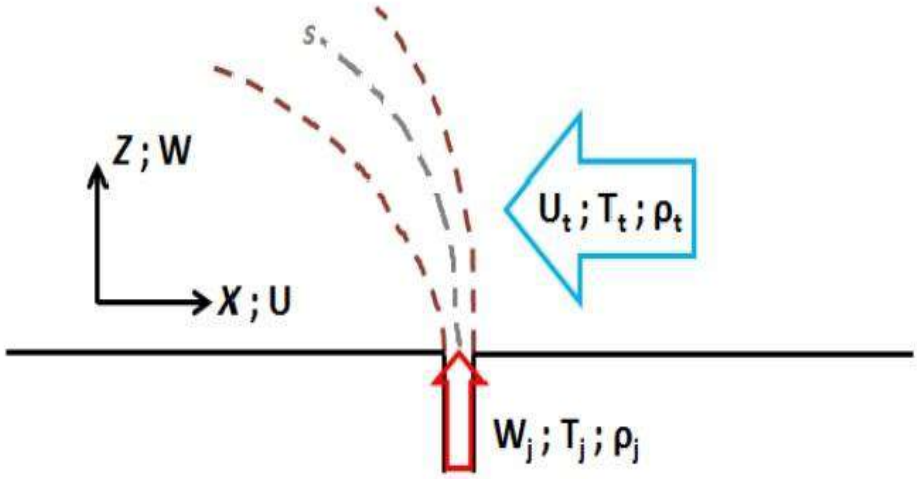


Figure I.2 : Illustration du Jet In Cross Flow - issue de la publication de CAMBONIE et al. [27].

Où, U_t et W_j représentent respectivement la vitesse horizontale de l'écoulement traversier et la vitesse verticale du jet, T_t et T_j les températures des écoulements, ρ_t et ρ_j leurs masses volumiques. L'axe suivant la ligne de description du jet, par rapport au centre du jet [0 ; 0], est classiquement notée « s ».

Que ce soit par approche numérique ou expérimentale, la littérature regorge de publications sur cette thématique. Beaucoup de ramifications ont été apportées au cas classique du jet chaud vertical dans un écoulement froid horizontal, comme par exemple : le fait de confiner le jet par un «plafond», de changer l'angle d'injection (KOLLA et al. [28), le nombre de MACH des écoulements (KAWAI & LELE [29]), le nombre d'injecteurs (HOLDEMAN et al. [30]), la nature des écoulements (CLERX et al. [31]), la présence d'obstacles (RUNDSTRÖM & MOSHFEGH [32])…. Afin de traiter des configurations proches de celles attendues dans l'écoulement à étudier, seules les études concernant le JICF avec un jet vertical unique seront étudiées.

Afin de pouvoir comparer les différentes études réalisées sur ce sujet, l'utilisation de plusieurs nombres adimensionnels, mis en place au cours des décennies précédentes, a été privilégiée. Ces nombres sont principalement :

– le rapport des vitesses entre le jet et l'écoulement principal « $\boldsymbol{\alpha}$ » également noté VR dans la littérature :

$$\alpha = \frac{W_j}{U_t} \tag{1.1}$$

– le rapport des densités de flux de quantités de mouvement volumique « J » ou CR :

$$J = \frac{\rho_j}{\rho_t}\left[\frac{W_j}{U_t}\right]^2 \tag{1.2}$$

– plus récemment, c'est le facteur r qui est le plus utilisé :

$$R = \sqrt{\frac{\rho_j}{\rho_t}\left[\frac{W_j}{U_t}\right]^2} = \sqrt{J} \tag{1.3}$$

A noter que si les écoulements traversiers et d'injection sont à la même température, les trois grandeurs identifiées (α , J et r) sont identiques. Il est facile de comprendre que pour des rapports ρ_j/ρ_t équivalent, c'est le rapport de vitesses W_j / U_t qui pilote le facteur. Il est alors naturel d'observer que plus le facteur r est grand ($W_j > U_t$ à densité équivalente), plus le jet pénètre loin dans l'écoulement traversier comme le souligne ANDREOPOULOS [33].

Il est donc nécessaire d'approfondir les études dédiées aux écoulements de jet soumis à un écoulement traversier et notamment en soulignant l'influence de certains paramètres afin de mieux approfondir l'organisation potentielle des écoulements résultants, comme :

1. les conditions aux limites des deux écoulements.
2. la hauteur sous plafond.
3. les structures tourbillonnaires.

Deux approches sont donc possibles et surtout complémentaires. Dans un premier temps, l'aspect stationnaire sera souligné. Il permet d'observer l'inclinaison du jet en fonction des différents paramètres caractéristiques. Dans un second temps, les aspects instationnaires Seront présentés notamment par le biais de la topologie des structures tourbillonnaires mises en jeu.

I.4.2. Aspects stationnaires :

Les JICF sont généralement caractérisés dans une première approche par leurs trajectoires (cf. Fig. I.3). Ces dernières, directement liées au facteur r les caractérisant, servent notamment :

– à décrire l'inclinaison du jet dans l'écoulement traversier.

– à définir l'expansion du jet par la description de ses frontières amont et aval (Lignes OD et OE - Fig. I.3)

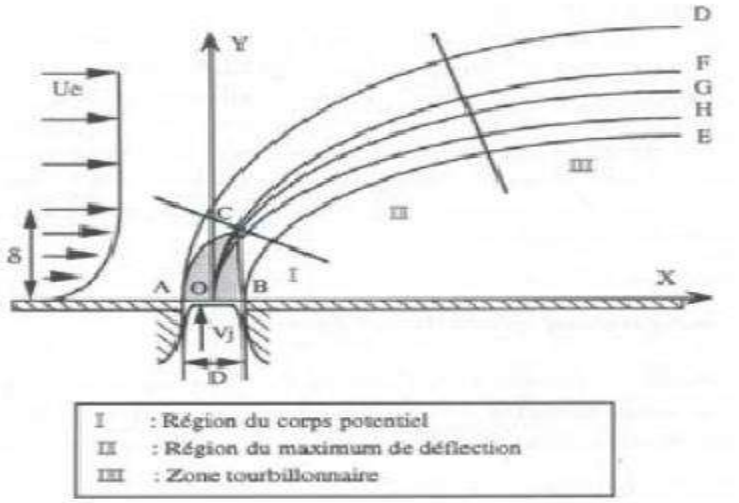


Figure I.3 : Illustration des frontières du jet et des différents axes le caractérisant par BRIZZI [34].

L'axe du jet peut revêtir quatre définitions différentes : soit il correspond à la ligne passant par les vitesses maximales (ligne OF), soit par le traceur maximum (température ou concentration - ligne OH), soit par les maximales de verticité (CVP) ou encore la ligne passant par le centre des lignes amont et aval (ligne OG).

Il est généralement admis que les lignes décrites par les structures tourbillonnaires et celles suivant les maxima thermiques se confondent, comme le rappelle par ailleurs MARGASON [35] lors de sa revue bibliographique en 1993 dans le cas où la température du jet est différente de celle de l'écoulement principal. La ligne de vitesse maximale est généralement différente des autres déflexions. Elle s'en trouve décalée vers le haut par rapport aux autres définitions (cf. Fig. I.4).

En fait, à partir de la compilation des résultats sur le positionnement de l'axe du jet, des approches analytiques ont été proposées pour le définir et les formes les plus souvent utilisées sont celles présentées par les équations (I.2) et (I.3) :

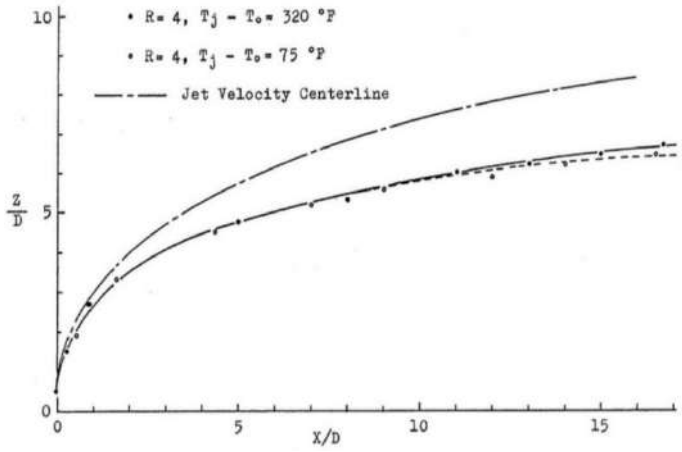


Figure I.4 : Profils de vitesse et de température pour deux valeurs du facteur r Différentes d'après KAMOTANI & GREBER [36].

- Par le rapport X/D :

$$\frac{Z}{D} = \alpha r^{\beta\left(\frac{X}{D}\right)^{\gamma}} \tag{1.4}$$

- Par le rapport X/rD :

$$\frac{Z}{rD} = A\left(\frac{Z}{rD}\right)^{\beta} \tag{1.5}$$

Sous ces formes analytiques, chaque auteur a proposé son jeu de paramètres optimisés (cf. TAB. I.2) ; et une multitude de corrélations existent, MARGASON de 1993 [34] donnant notamment plus de détails

Auteurs	Jeu de paramètres	Grandeur	Année
KAMOTANI & GREBER [36]	α = 0,89 ; β = 0,94 ; γ = 0,36 α = 0,89 ; β = 0,94 ; γ = 0,36	Vitesse Vitesse	1972 1972
PATRICK [37]	α = 1 ; β = 0,85 ; γ = 0,38	concentration	1967
FEARN & WESTON [38]	α = 0,347 ; β = 1,127 ; γ = 0,429	CVP	1974
PRATTE & BAINES [39]	A = 2,05 ; B = 0,28	concentration	1967
MARGASON [35]	2 < A < 2,6 ; 0,28 < B < 0,34		1993
HASSELBRINK & MUNGAL [40]	A = $\left(2/c_{ej}\right)^{0.5}$; B = 0,5 (champ proche) A = $\left(3/c_{ej}\right)^{1/3}$; B = 1/3 (champ lointain) c_{ej} , le coefficient d'entraînement = 0,32 d'après RICOU & SPALDING [41]	centre	2001

Tableau I.2 : Présentation non exhaustive des équations des positions centrales du jet dans la Littérature.

L'inclinaison du jet et la caractérisation des lignes caractéristiques dépendent en grande partie du rapport r entre le jet et l'écoulement traversier, mais également de divers paramètres propres à chaque expérience, comme la forme de l'injecteur, le profil de vitesse d'injection, la hauteur de la couche limite, …

Le premier point, permettant de caractériser le jet et ayant une importance non négligeable sur son comportement dans l'écoulement dans la partie proche de la sortie, est la forme de l'injecteur. HAVEN & KUROSAKA [42] montrent notamment que le rapport d'aspect (taille de l'orifice dans le sens de l'écoulement sur l'autre dimension) joue un rôle important sur la distance entre les tourbillons contrarotatifs, indiquant ainsi que plus le rapport d'aspect est faible (orifice plus long que large dans le sens de l'écoulement), plus le jet pénètre l'écoulement traversier.

Le développement du jet dans la première région appelée « zone potentielle » dépend uniquement de l'injection. L'écoulement traversier n'a que peu d'influence car la vitesse du jet est très proche de celle de l'injection (W_j) et la température y est à son maximum. Cette zone a une taille variable dépendant bien évidemment du facteur r mais également du profil d'injection de l'air chaud. En effet, plusieurs études ont montré que le profil d'injection (parabolique ou carré) dans l'écoulement traversier a un impact direct sur l'évolution et la pénétration du jet dans l'écoulement principal. Lors de leurs travaux dans de l'eau, NEW et al. [43] ont mis en évidence que la pénétration du jet dans l'écoulement est plus importante lorsque le profil est de type parabolique que lorsqu'il est de type carré.

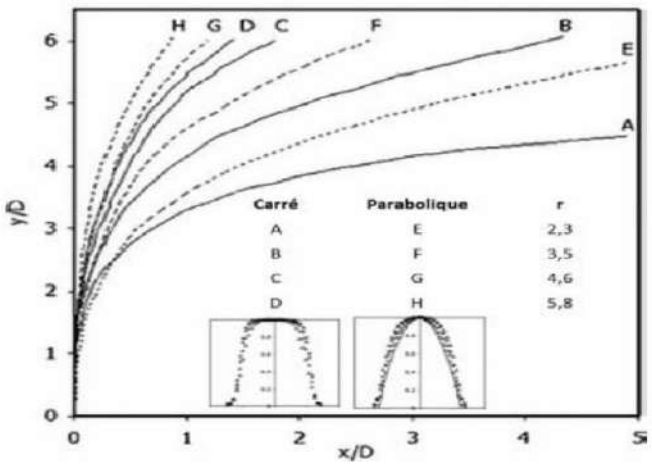


Figure I.5 : Lignes caractéristiques issues de tests en eau avec une injection parabolique (pointillée) et carrée (trait plein) pour 4 valeurs du facteur r différents NEW et al. [43].

MUPPIDI et al. [44,45] ont également travaillé sur ce sujet. La trajectoire de la ligne centrale (jet / traversier) est fortement dépendante de la forme du profil du jet et des conditions initiales de l'écoulement traversier. Effectivement, ils observent qu'un jet avec un profil parabolique pénètre plus facilement dans l'écoulement traversier (relevant la trajectoire) qu'un jet avec un profil plat (pour des facteurs **r** et des couches limites de l'écoulement traversier identiques). Parallèlement, pour des jets identiques à valeurs de **r** données, le jet évolue plus facilement lorsque la couche limite est grande que lorsque celle-ci est fine. En se basant sur les travaux de SU & MUNGAL [46] où le rapport de quantité de mouvement r est égal à 5,7 pour des nombres de **Reynolds** de jet d'environ 5000, MUPPIDI et al. [45] ont cherché à valider leur approche numérique. En plus d'avoir trouvé une bonne ressemblance entre l'expérience et la simulation numérique, ils ont pu mettre en évidence l'influence des paramètres de la turbulence [46] et l'énergie cinétique de turbulence qui subit une très forte variation aux abords du jet. En effet, l'énergie de turbulence augmente jusqu'à une hauteur équivalente à 4 fois le diamètre (4 D), diminue alors rapidement (vers 8D) puis se stabilise en s'éloignant de la sortie.

Bien que la majorité des études à lieu dans un environnement semi-infini ou sans interaction avec éventuellement la présence d'un plafond, KAMOTANI & GREBER [36] ont montré que la présence d'un plafond, pour un facteur r donné, limite le développement du jet. Dès lors qu'il n'y a pas d'interaction possible entre le plafond et le jet, la hauteur H/D n'a aucune influence sur l'axe du Jet. Par exemple, pour r = 2,83 (J = 8), quelle que soit la valeur prise par le rapport H/D ($\rightarrow\infty$, 16 ou 12) dans leur étude, le positionnement du jet est strictement identique. Pour des valeurs plus faibles, H/D = 8, une légère déviation est observée (cf. Fig. I.6).

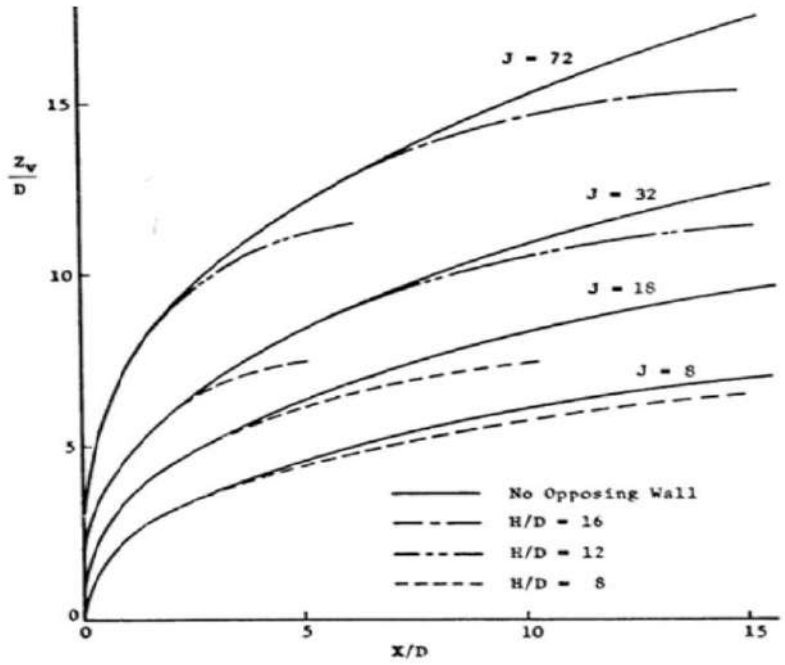


Figure I.6 : Evolution spatiale du centre du jet défini par les vitesses - pour 4 valeurs du facteur J différents et pour 4 rapports H/D, d'après KAMOTANI & GREBER [47].

D'ailleurs, peu d'études se sont intéressées au jet impactant une paroi en présence d'un écoulement traversier. Sans écoulement traversier, au contraire, un nombre conséquent d'études a été mené sur l'impact de jet dans un environnement ouvert et stable dont ROUX [48], notamment pour identifier l'amplification des échanges thermiques ayant lieu à la paroi et assurer par la même un meilleur refroidissement de cette dernière.

1.4.3. Aspects instationnaires :

Le JICF est par nature un mécanisme de confrontation aéraulique extrêmement tri- dimensionnel. De cette complexité se dégage un comportement purement instationnaire au sein duquel 4 types de structures tourbillonnaires peuvent être identifiées :

– tourbillons en fer à cheval (I).

– tourbillons de couche de cisaillement (II).

– paire de tourbillons contrarotatifs (III).

– tourbillons de sillage (IV).

Ces structures, schématiquement présentées Fig. I.7 (d'après FRIC & ROSHKO [49]), seront par la suite détaillées.

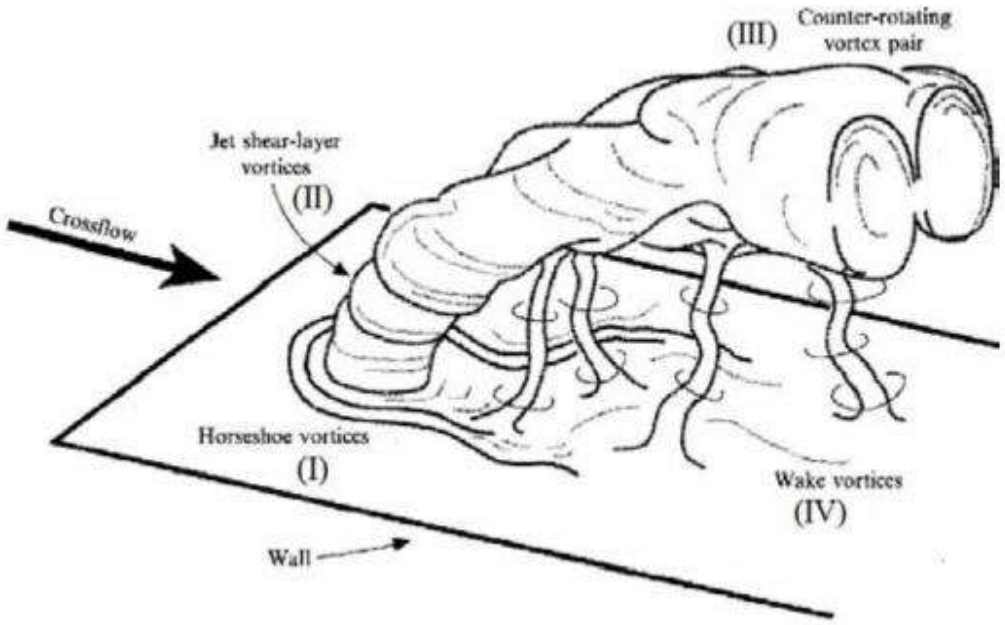


Figure I.7 : Structures tourbillonnaires types d'un JICF. Schéma d'après FRIC & ROSHKO [48].

I.5. Conclusion :

La récurrence de nombreux accidents de véhicules en feu à l'intérieur des tunnels nous oblige à rechercher des solutions pour assurer la sûreté et la sécurité des voyageurs et des conducteurs à l'intérieur des tunnels . Dans ce travail nous allons simuler l'incendie d'un véhicule à l'intérieur d'un tunnel avec changement des conditions pour affecter la propagation des fumées et gaz polluants , nous intéresserons en particulier à la propagation des fumées et gaz polluants Le dioxyde de carbone et l'effet de la température pour assurer les meilleures conditions possibles pour réduire la température et la propagation des gaz et vapeurs et réduire.

CHAPITRE: II

ETUDE MATHEMATIQUES

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéresse à la modélisation mathématique de transfert de Chaleur et d'écoulement turbulent des fluides miscibles incompressibles en régime variable, ou les Modèles de fermeture sont abordés.

Tout d'abord, les lois fondamentales du transfert de la chaleur seront présentées, Aboutissent à l'équation de la chaleur régissant le comportement d'un système thermique.

Ensuite nous avons fait une présentation sur les équations de Navier-Stokes qui régissent le Mouvement turbulence d'un fluide incompressible visqueux.

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 de L'énergie

II.2. Modélisation de la turbulence :

Utilisation courante a été rendue possible par les progrès réalisés dans le domaine de la résolution des équations de la mécanique des fluides et sur tout par l'évolution des moyens de calcul. Aujourd'hui la modélisation est un véritable complément aux études expérimentales La modélisation des écoulements turbulents est un considérable outil pour la compréhension des mécanismes physiques pour la conception et le développement dans l'industrie. Son permettant de limiter le nombre d'essais en soufflerie, entraînant une réduction des coûts et des délais de conception, et constitue ainsi un enjeu économique majeur. Actuellement les applications concernant les géométries complexes réelles dans le domaine de la prévision atmosphérique et la qualité de l'air dans la couche limite urbaine, mettent en jeu des phénomènes complexes : transition laminaire, turbulence, décollements, etc.

II.3. Equations mathématiques :

II.3.1. Equation de continuité :

L'équation de continuité sous plusieurs formes différentes : locale conservative (dérivée en temps normale), locale non conservative (la dérivée en temps suit la particule dans son mouvement), ou intégrale. Suivant les problèmes posés, c'est l'une ou l'autre de ces équations qui pourra être retenue, toutes étant équivalentes.

On note ici :

- $\rho = \rho(\vec{x}, t)$ **(II. 1)**

La masse volumique du fluide au point repéré par le vecteur $\vec{x}$ l'instant ***t***.

- $\vec{U} = (\vec{U}, t)$ **(II. 2)**

la vitesse d'une particule de fluide se trouvant au point repéré par le vecteur $\vec{x}$ à l'instant ***t***.

II.3.1.1. Forme locale :

Cette écriture est la plus générale et la plus répandue.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{U}) = 0 \quad \textbf{(II. 3)}$$

En faisant intervenir la notion de dérivée particulaire, on a l'écriture équivalente suivante :

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho\ \text{div}(\vec{U}) = 0 \quad \textbf{(II. 4)}$$

II.3.1.2. Forme intégrale :

Cette formulation permet l'étude d'un "bloc" de fluide $\Omega(\boldsymbol{t})$ pouvant éventuellement se déformer au cours du temps.

Elle traduit le fait que la masse du fluide enfermé dans le volume $\Omega(\boldsymbol{t})$ est constante.

$$\frac{d}{dt}\int_{\Omega(t)} \rho(\vec{x}, t) d\,\Omega(t) = 0 \quad \textbf{(II. 5)}$$

II.3.1.3. Ecoulement incompressible :

Dans le cas où la masse volumique est constante au cours du temps et uniforme dans l'espace (écoulement incompressible) , l'équation de conservation se réduit à

$$\text{div}(\vec{U}) = 0 \quad \textbf{(II. 6)}$$

II.3.1.4. Conditions de saut :

Lorsque le composé étudié est constitué de deux parties du fluide différentes séparés par une interface $\sum(t)$ se déplaçant à une vitesse de propagation locale $\vec{W}(\vec{x}, t)$, la conservation de la masse s'exprime par la relation suivante :

$$\Delta\ [\ \rho\ (\vec{U} - \vec{W})\ ]\ .\ \vec{n} = 0 \quad \textbf{(II. 7)}$$

Ou : $\Delta(b) = b_2 - b_1$ si $\boldsymbol{b_1}$ et $\boldsymbol{b_2}$ sont les valeurs respectives de la grandeur ***b*** dans les deux fluides 1 et 2 et $\vec{n}$ est le vecteur normal à $\sum(t)$ orienté du fluide 1 vers le fluide 2.

II.3.2. Equation de bilan de l'énergie :

$$\frac{\partial(\overline{\rho e})}{\partial t} + \vec{\nabla}.\left[(\rho e + p)\vec{V}\right] = \overrightarrow{\nabla}.\left(\bar{\bar{\tau}}.\vec{V}\right) + \rho\vec{f}.\vec{V} - \vec{\nabla}.\left(\vec{q}\right) + r \qquad (\mathbf{II.8})$$

Dans ces équations :

- t : représente le temps (unité SI : s) ;
- ρ : désigne la masse volumique du fluide (unité SI : Kg.m^{-3}) ;
- $\vec{V}$ = (v1, v2, v3) désigne la vitesse eulérienne d'une particule fluide (unité SI : N.Kg^{1}) ;
- P : désigne la pression (unité SI : Pa) ;
- $\bar{\bar{\tau}}$: (τij) ij 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/Kg^{1}) ;
- e : est l'énergie totale par unité de masse (unité SI : J.Kg^{-1}) ;
- $\vec{q}$: est le flux de chaleur perdu par conduction thermique (unité SI J.$m^{-2}.s^{-1}$) ;
- : Représente la perte de chaleur volumique due au rayonnement (unité SI : J·$m^{-3}.s^{-1}$) ;

II.3.3. Equation de Navier-Stokes :

En mécanique des fluides, les équations de Navier-Stokes sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui décrivent le mouvement des fluides dans l'approximation des milieux continus. Elles gouvernent par exemple les mouvements de l'air de l'atmosphère, les courants océaniques, l'écoulement de l'eau dans un tuyau, le mouvement d'air dans les locaux et de nombreux autres phénomènes d'écoulement de fluides. Ils sont nommés d'après deux physiciens XIXe siècle, Claude Navier et Stokes Il existe bien des formes des équations de Navier-Stokes. Nous n'en présenterons que certaines ces formes dépendent aussi des notations utilisées.

Cette équation est la conséquence directe du théorème de quantité de mouvement

$$\overbrace{\underbrace{\frac{\partial U_j}{\partial t}}_{(3)} + U_j \underbrace{\frac{\partial U_i}{\partial X_j}}_{(4)}}^{(1)} = \overbrace{-\underbrace{\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial X_i}}_{(5)} + \underbrace{\frac{\partial^2 U_i}{\partial X_i \partial X_j}}_{(6)}}^{(2)} \qquad (\mathbf{II.9})$$

(1) : terme force d'intertie.

(2): terme force appliqué.

(3) : terme in stationnaire.

(4): terme convective.

(5): terme pression.

(6): terme visqueux.

II.3.4. L'équation de diffusion :

Le point de départ est l'hypothèse que la substance est conservée, au sens où, une fois générée par une source, elle n'est pas détruite. Il s'ensuit que la densité/concentration obéit à une équation de conservation

$$\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} + \nabla . \vec{J}(x, t) = 0 \qquad (\mathbf{II.10})$$

Le moteur de la diffusion est une différence locale de concentration qui génère naturellement un courant de substance, $\vec{j}$ (x, t), en ce lieu, vers l'extérieur si la concentration y est plus élevée et vers l'intérieur si la concentration y est moins élevée. Nous posons ici que ce courant est proportionnel au gradient de densité, avec le signe - pour respecter la direction du courant (il descend la pente). Nous avons donc

$$\vec{j}(x, t) = -D\nabla\Psi(x, t) \qquad (\mathbf{II.11})$$

Où D est un coefficient de proportionnalité appelé coefficient de diffusion et dont la valeur dépend des substances en contact. Il dépend de la substance diffusante et du milieu dans lequel elle diffuse, tenant compte de façon globale de l'interaction (viscosité, fugacité...) entre les deux milieux. Remplaçant nous donne

$$\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} - D\nabla^2\Psi(x, t) = 0 \qquad (\mathbf{II.12})$$

C'est l'équation homogène de diffusion dont la solution nous donnera la concentration Ψ(x, t) en tout lieu et en tout temps, dans les limites pertinentes à notre problème. En fait, cette équation est générale et s'applique donc à tous les phénomènes de diffusion, allant de la crème dans le café jusqu'aux photons dans la masse d'une étoile. Pour spécialiser la solution au problème particulier auquel nous faisons face, il nous faut ajouter les conditions initiales qui peuvent être, par exemple, la distribution de la concentration au temps t = 0. Cette condition initiale suppose donc que nous avons une Plus généralement, lorsque D est une matrice symétrique définie positive, l'équation décrit la diffusion anisotrope, qui est écrite (pour les trois dimensions de diffusion) comme sui

$$\frac{\partial \phi(r,t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^{3} \sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ij}(\phi, r) \frac{\partial \phi(t,r)}{\partial x_i} \right] \qquad (\mathbf{II.13})$$

Si D est constante, l'équation se réduit à l'équation différentielle linéaire suivante

$$\frac{\partial\phi(r,t)}{\phi t} = \mathrm{D}\nabla^2\phi(r,t) \qquad (\mathbf{II.14})$$

Si D est constante, l'équation se réduit à l'équation différentielle linéaire suivante :

$$\frac{\partial\phi(t,r)}{\partial t} = \mathrm{D}\nabla^2\phi(t,r) \qquad (\mathbf{II.15})$$

Également appelé l'équation de la chaleur

II.3.5. Equation de conservation de quantité de mouvement :

La conservation de la quantité de mouvement désigne, dans un référentiel inertiel, l'absence de variation de la quantité de mouvement du centre d'inertie d'un système dans certaines situations physiques : on parle alors d'un système isolé. Exemple : dans un référentiel inertiel et en l'absence de frottement, un système de corps soumis à aucune force extérieure mais entrant en collision les uns avec les autres.
Mathématiquement, la quantité de mouvement est conservée lorsque sa variation instantanée est nulle :

Ce principe est équivalent au principe d'inertie, mais fait intervenir la masse des corps (par définition), ce qui permet d'introduire la notion de force (par définition) dans le cas où le mouvement n'est pas rectiligne uniforme
La formule :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\tilde{u}i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\bar{\rho}\tilde{u}j\tilde{u}i) = -\frac{\partial\bar{\rho}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\tau}ij - \overline{\rho u"_1 \rho u"_2}\right) + (\overline{\rho_\infty} - \bar{\rho})\mathrm{g}\delta ij \qquad (\mathbf{II.16})$$

II.3.6. Equation de conservation des espèces :

Un système n'échange avec l'extérieur ni énergie par l'intermédiaire de forces, Il est dit isolé. Notamment, le système isolé n'échange pas de photons avec un autre système, ni n'en reçoit d'autre système

La formule :

$$\frac{\partial}{\partial t}\vec{\rho}\vec{T} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\vec{\rho}\tilde{u}j\vec{T}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\lambda}{cp}\frac{\partial\tilde{T}}{\partial x_j} - \overline{\rho u"_j}\right) \qquad (\mathbf{II.17})$$

II.3.7. Equation de conservation des espèces :

Exprime dans cette formule :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\tilde{c}^m) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}\tilde{u}j\tilde{c}^m) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\rho}\, D^{m\frac{\partial \tilde{c}^m}{\partial x_j}} - \overline{\rho U"_J c}\right) \quad (\mathbf{II.18})$$

La fermeture du système d'équations nécessite de définir les deux équations de énergie cinétique turbulente et du taux de dissipation de cette énergie turbulente.

$$\frac{\partial}{\partial t}(Pk) + \frac{\partial}{\partial x_j}(Pjkuj) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(u + \frac{u_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial t}{\partial x_j}\right] + Gk + Gb - \rho\varepsilon - YM + Sk \quad (\mathbf{II.19})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon uj) = \frac{\partial}{\partial X_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu}{\delta_K}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j}\right] + \rho C1\mathrm{S}\varepsilon - \rho C2\frac{\varepsilon^2}{\sqrt{\vartheta\varepsilon}} + \mathrm{C3}\varepsilon Gb + S\varepsilon \quad (\mathbf{II.20})$$

CHAPITRE : III

PROCEDURE DE LA SIMULATION NUMERIQUE

III.1. Introduction :

La simulation numérique des flux , des transferts de chaleur et de la masse est devenue un outil indispensable et distinctif dans de nombreux domaines tels que l'aviation , les machines à turbine et l'industrie automobile , et il convient de noter qu'il a permis d'économiser beaucoup de temps , d'efforts et de travail en plus de beaucoup d'argent .

L'étude scientifique d'un phénomène physique comprend une ou plusieurs formulations sur celui-ci lois sous forme d'équations aux dérivées partielles. Résoudre ces équations sont faites par des méthodes numériques telles que la méthode des différences finies, la méthode des éléments finis et la méthode des volumes finis sont les plus couramment utilisées actuellement en symboles CFD.

III.2. Logiciel ANSYS (APDL) :

ANSYS est un logiciel d'analyse concerne la résolution de problèmes linéaires et non linéaires pour : la mécanique des structures, la mécanique des fluides, l'acoustique, la thermodynamique, la piézoélectricité et l'électromagnétisme classique. Le programme contient un certain nombre d'éléments pour résoudre des problèmes unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels. Il existe actuellement deux versions du programme : la version classique (ANSYS Classique) et la version graphique (GUI) appelée ANSYS Workbench.

III.3. Les méthode numérique :

Il y'a trois méthodes numériques qui sont utilisées généralement pour la résolution des systèmes d'équations aux drivées partielles régissant les écoulements. Ces méthodes sont :

- La méthode des différences finies.
- La méthode des éléments finis.
- La méthode des volumes finis.

III.3.1. La méthode des différences finies :

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

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

III.3.2. La méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis consiste à rapprocher les équations différentielles régissant pour un système avec un ensemble d'équations algébriques concernant un nombre limité de variables. Ces méthodes sont populaires parce qu'ils peuvent facilement être programmés. Les techniques des éléments finis ont été initialement développées pour des problèmes structurels, mais ils ont été étendus à de nombreux problèmes du terrain. Le solide est décomposé en éléments de forme géométrique simple ayant des côtés communs et dont les **s**ommets ou nœuds sont les points d'articulation de plusieurs éléments entre eux.
Ces nœuds seront les points d'application des forces intérieures ou extérieures.
L'opération de décomposition est le maillage. Un bon maillage doit faciliter les opérations Prévues par un programme d'ordinateur. Il faut donc adopter une méthode systématique de numérotation des éléments et des nœuds.
Avantages : traitement possible de géométries complexes, détermination plus naturelle Des conditions aux limites, possibilité de démonstrations mathématiques de convergence
Inconvénients : complexité de mise en œuvre et coût en temps de calcul et en mémoire.

III.3.3. La méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles, comme la méthode des différences finies et celle des éléments finis. Contrairement à la méthode des différences finies qui met en jeu des approximations des dérivées, les méthodes des volumes finis et des éléments finis exploitent des approximations d'intégrales. Toutefois, la méthode des volumes finis se base directement sur la forme dite forte de l'équation à résoudre, alors que la méthode des éléments finis se fonde sur une formulation variationnelle de l'équation (on parle aussi de formulation faible).

III.3.4. Présentation de la méthode :

Comme nous l'avons précédemment évoquée, La méthode des éléments finis a pour but de remplacer un problème mathématique défini dans un milieu continu et sous la forme d'équations différentielles ou d'intégrales, par un problème discret sous forme matricielle qu'il est possible de résoudre numériquement.

En résumé, cette méthode nécessite la discrétisation d'un continuum en un modèle composé d'un assemblage d'éléments finis qui possèdent des formes et des tailles variées.

De plus, le calcul de la solution nécessite la prise en compte d'un certain nombre de paramètres, tels que :

• La géométrie discrétisée en éléments finis.
• Les contraintes imposées sur le dispositif.
• Les excitations présentes dans le dispositif.
• Les propriétés des matériaux compo Sant le dispositif.

III.4. Méthode de Résolution des équations par éléments finis :

III.4.1. Introduction :

La méthode des éléments finis est fondée sur deux idées principales : une méthode D'interpolation et une méthode vibrationnelle.

Etant donnés un domaine continu et une fonction u solutions de L(u) = 0.

a) la méthode d'interpolation fournira une fonction proche de u construite à partir d'un nombre finis de réels.

b) la méthode vibrationnelle remplacera L(u) = 0 par un nombre fini d'équations.

Si l'on suppose la fonction approchée connue en un certain nombre de points de l'élément, elle est évaluée en n'importe quel point de l'élément par interpolation.

La restriction de la fonction approchée à un élément K (quadratique) du maillage, notée $\emptyset_n^k$, est de la forme :

$$\emptyset_n^k(x,y) = \sum_{i=0}^{nk} = \emptyset_i N_i(x,y) = 0 \qquad \text{(III-1)}$$

Ou $\emptyset_m^k$ désigne la valeur de la fonction approchée $\emptyset_i$ au point xi de coordonnées (xi, yi),

Ni la fonction d'interpolation associée à xi, Nk le nombre de fonction utilisées pour l'élément k, Les coefficients ∅i de cette combinaison linéaire sont les inconnues ou degré de liberté du problème discret, les fonctions d'interpolation sont les fonctions de base d'un espace vectoriel de dimension finie Nk dans lequel on cherche à priori la solution discrète ∅ .

Afin de déterminer les inconnus du problème discret, une méthode de résidus pondérés est Utilisée : on minimise l'erreur commise est menuisée en remplacent dans les équations aux dérives partielles les fonctions exacte par la fonction approchée, pour cela, on projette l'air sur un espace de fonction Øh à précisé. La méthode de galerkin est un cas particulier de la méthode des résidus pondérés, l'espace Projection est le même que l'espace d'approximation de la solution du problème, autrement dit Øh = Nh.

III.4.2. Misse en œuvre de la méthode des éléments finis :

III. 4.2.1. Formation vibrationnelle faible :

La formation vibrationnelle faible peut être obtenue par l'étable suivante :

1. Approcher la solution u. partout dans le domaine Ω, par U tel que :

$$\overline{U}=\sum_{i=1}^{n} N_i\, \overline{U}_l \qquad \text{(III-2)}$$

On Ni =Ni(x, y) désignent les fonctions $\overline{U}$ et des valeurs nodales in terminées.

2. introduire (III-3) dans (III-2) il en résulte une erreur ou un résidu tel que :

$$\varepsilon = \zeta(\overline{U}) - \mathrm{F} \neq 0 \qquad \text{(III-3)}$$

3. obstiner une valeur nulle de en introduisant une fonction de point arbitraire w tel que :

$$\int W\left(\zeta(\overline{U} - F)\right) d\Omega = 0,\ \mathrm{K}=1, 2, 3\ldots\ldots\mathrm{N} \qquad \text{(III-4)}$$

On N nombre d'inconnues indépendants du système (III-2)

En formulation de galerkine les fonctions tests sont assimilées aux fonctions de forme On pose :

$$W_k = N_k = \int NK\, \zeta\left(\sum_{i=1}^{n} N_i \overline{u_1}\right) d\Omega = 0 \qquad \text{(III-5)}$$

On dit que u $\varepsilon\ H_0^1(\Omega\ )$ est une solution faible de (III-5) si :

∀ v $H_0^1(\Omega)$ a $(\overline{U}, V)$ (III-6)

À $(\overline{U}, V)$est la forme bilinéaire associée à (ζ) soit Ω un ouvert borné R^det dΩ est régulier.

On considère alors le problème :

Lu = f sur Ω et u = 0 sur $d\Omega = 0$ (III-7)

III.4.3. Forme générale des équations du système [10] :

Les équations du système sont écrites sous la forme généralisée suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho c\emptyset + \frac{\partial}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x \emptyset\emptyset) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho V_y \emptyset\emptyset\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(T\emptyset \frac{\partial \emptyset}{\partial y}\right) + \mathrm{S}\emptyset \qquad \text{(III-8)}$$

Ou :

∅ : Variatible généralisée.

C∅ : Coefficient d'advection transitoire.

T∅ : coefficient de diffusion.

S∅ : termes source.

Le tableau (III-9) regroupe les expressions des différents termes dans les différentes équations du système.

Variable ∅	**Coefficient d'advection $C_\emptyset$**	**Diffusivité $\Gamma_\emptyset$**	**Termes source $S_\emptyset$**
V_x	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)-\delta\nabla\left\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}\right\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}$
V_y	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)-\delta\nabla\left\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}\right\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}$
T	1	$\frac{k}{\rho c^e}$	$\frac{\varphi}{pc^e}$
P	1	0	0

Tableau III-1 : expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables.

III.5. Choix d'un maillage :

La méthode des éléments finis repose sur découpage d'un espace selon un maillage , d'habitude on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'in territ de choisir des maillage plus complexe , il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on a tendance à resserrer le maillage prés des endroits d'in tétères (par exemple aux endroits où l'on pense que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des « éléments faiblement Distordus (se rapprocher d'un polygone régulier) , plus ce maillage est resserré plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la « vraie » solution de 1 équation aux dérivé partiels . même si une géométriquement complexe peut être maillée avec des éléments tétraédriques, elles mais exigent de nombreux éléments et que mai conduire à lécha parce que la simulation des ressources informatiques même un volume de forme régulière mai exigent de nombreux éléments tétraédriques si elle a un ratio très grand aspect.

III.5.1. Discrétisation :

La discrétisation de ces équations permet de convertir les équations aux dérivées partielles en équations algébriques qui sont alors résolues par les méthodes numériques traditionnelles,

le procédé de discrétisation par élément fini consiste à écrire, après intégration, l'équation généralisée sous forme matricielle élémentaire.

$([A_B{}^{transirent}] + [A_B{}^{advections}] + [A_e{}^{diffusion}])(\emptyset e) = (S_e^{\emptyset})$ (III-9)

Pour les intégrales élémentaire, la méthode galérien des résiduels pesés est employé.

III.5.1.1.Terme temporelle :

Le premier des contributions de l'élémentaire est le terme de transition, sa forme générale est simplement :

Générale est simplement :

$$[A_e{}^{transen}] = \int W^e \frac{a\rho c\emptyset}{\partial t} d(vol) \quad \text{(III-10)}$$

Avec :

W_e = la fonction pesante pour l'élément, qui est également la fonction de forme pour le nœud :

$$\int W^e \frac{(a\rho c\emptyset\emptyset)^2}{\partial t} d(vol) = \int W_i^e \rho c\emptyset W_i^e d(vol) \frac{\partial \emptyset_i^e}{\partial t} + \int W_i^e \frac{\partial \rho c\emptyset}{\partial t} W_j^e d(vol) \emptyset_j^e \quad \text{(III-11)}$$

Les indices inférieurs i et j indiquent le nombre de nœud, si la deuxième partie de l'équation (III-11) est négligée, la matrice de masse peut être exprimée comme :

$$M_{ij} = \int W_i^e \rho c\emptyset W_i^e \, d(vol) \quad \text{(III-12)}$$

Si l'approximation localisée de masse est employée.

$$M_{ij} = \delta_{ij} \int W_i^e \rho c\emptyset W_i^e \, d(vol) \quad \text{(III-13)}$$

Ou : δ_{ij} =delta de Kronecker (o si i≠ j ,1 $si\ i = j$) il ya deux méthode d'intégration temporelles : Newmarket et (Packard différence) différence en arrière. La méthode d'interaction de temps de newmank ou, la formulation implicite de base onde, exprime l'étape de temps courant comme la nième étape de frios et l'expressions comporte les résultats précédents d'une étape des temps.

$$(\rho\emptyset)_n = (\rho\emptyset)_{n-1} + \nabla t \left[\delta \left(\frac{\partial(\rho\emptyset)}{\partial t}\right) + (1-\delta)\left(\frac{\partial(\rho\emptyset)}{\partial t}\right)_{n-1}\right] \quad \text{(III-14)}$$

Ou :

$\delta =$ Coefficient d'intégration de temps pour la méthode newmark l'équation (III-14) est écrite comme suite :

$$\left(\frac{\partial(\rho\emptyset)}{\partial t}\right)_n = \frac{1}{\nabla\delta t}(\rho\emptyset)_n - \frac{1}{\nabla\delta t}(\rho\emptyset)_{n-1} + \left(1 - \frac{1}{\delta}\right) \quad \text{(III-15)}$$

III.5.1.2. Terme d'advection :

Il y'a trois approches pour la siscrétation du terme d'advection, l'approche dit ligne de courant monotone upwind (MSU), la ligne profilée upwind /petro–Galerkin (SUPG), et le approches colloquées de galerkin (COLG).

III.5.1.2.1. Monotone streamline upwind approach (MSU) :

Le terme d'advection est manipulé par une approche de ligne de courant monotone basée sur l'idée que le transport pur d'advection est le long des caractéristiques, il est utile de penser à la formulation de transport d'advection en termes de quantité étant transportée dans domaine connu de vitesse.

Le champ de vitesse lui-même peut être envisagé partout comme ensemble de tangerines profilées aux vecteurs de vitesse. Les limites d'advection peuvent donc être exprimées en termes de vitesse aérodynamiques. Dans le transport pur d'advection.

On suppose qu'aucun transfert ne se produit à travers les lignes caractéristiques. C'est-à-dire tout le transfert se produit le long des lignes profilées. Par conséquent on peut d'advection, s'écrit :

$$\frac{\partial(\rho v_x c\emptyset)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y c\emptyset)}{\partial y} = \frac{\partial(V_s\, c\emptyset)}{\partial s} \qquad \text{(III-16)}$$

Une foi exprimé le long d'une ligne profilée, et donc constant dans tout l'élément,on peut écrire :

$$[A_e{}^{\text{advections}}] = \frac{d(\rho VsC\emptyset\emptyset)}{dy} \int W^e\, d(vol) \qquad \text{(III-17)}$$

Cette formulation est faite pour chaque élément, dont chacun aura seulement un nœud qui obtient des contributions de l'intérieur de l'élément. Le dérivé est calculé en utilisant une différence simple :

$$\frac{d(\rho VsC\emptyset)u}{ds} = \frac{(\rho VsC\emptyset)u}{Ds} \qquad \text{(III-18)}$$

Ou :

Ds : l'indice de la valeur on niveau du nœud aval.

u : l'indice de la valeur prise à l'endroit où la rationalisation dans e nœud sous le vent pénètre dans l'élément.

ds : la distance du point situé en amont à l'aval nœuds.

La valeur à l'endroit ascendant a est inconnue mais peut être exprimée en termes de valeurs nodales inconnues qu'il est entre l'amont et l'aval.

Le processus consiste à cycle par tous pour l'élément et identifier les nœuds arrière, le calcul effectué est base sur la vitesse, pour vois d'où elle est venue la ligne profilée dans le nœud. Des facteurs pesants sont calculés, basé sur la proximité de l'endroit d'upwind aux nœuds Voisins.

$$\left[A_e^{advection}\right] = \int W^e \left\{\frac{\partial(\rho V x C\emptyset\emptyset)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V x C\emptyset\emptyset)}{\partial y}\right\} d(vol) + C_{2\tau}$$

$$\int \frac{zh}{2U_{mag}} \left\{V_x \frac{\partial W^E}{\partial X} + V_y \frac{\partial W^e}{\partial x}\right\} \left\{V_x \frac{\partial(\rho C\emptyset\emptyset)}{\partial X} + \frac{\partial(\rho C\emptyset\emptyset)}{\partial y}\right\} d(vol) \qquad \text{(III-19)}$$

Ou :

$C_{2\tau}$: Coefficient global réglé à 1.0.

H : longueur d'élément le long de la direction d'advection.

$$U_{mag} = \sqrt{V_{X^2} + V_{Y^2}} \begin{cases} 1 \; si \; 0 \leq p \leq 3 \\ \dfrac{pe}{3} \; si \; pe \geq 0 \end{cases}$$

$pe = \frac{\rho C p U_{mag}}{2T}$ nombre de pellet

L'exactitude du second degré, et donc le terme de perturbation fournit la stabilité nécessaire qui est absente la discrétisation pure de Galerkin.

III.5.1.2.2. Approche colloquée de galérien (COLG) :

L'approche de GOLG emploie le même arrangement de discrétisation avec l'approche de SUPG avec un concept colloqué, dans cet arrangement, un deuxième ensemble de vitesse, (la vitesse nodales élément – élément il est clair que pour l'approche de SUPG la maille est raffinée, les termes de perturbation tend à – based) qui sont faites pour satisfaire les équations de quantité de mouvement .

$$\left[A_e^{advection}\right] = \int W^2 \left\{\frac{\partial(\rho V x C \emptyset \emptyset)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V x C \emptyset \emptyset)}{\partial y}\right\} d(vol) + C_{2\tau}$$

$$\int \frac{zh}{2U_{mag}^2}\left\{V_X^e \frac{\partial W^E}{\partial v} + V_Y^e \frac{\partial W^e}{\partial x}\right\}\left\{V_X^e \frac{\partial(\rho C \emptyset \emptyset)}{\partial X} + V_Y^e \frac{\partial(\rho C \emptyset \emptyset)}{\partial y}\right\} d(vol) \quad \text{(III-20)}$$

Dans cette approche, l'équation de pression est dérivée à partir des vitesses nodales (élément – élément –basé), et elle est généralement asymétrique la conservation exacte soit préservée même sur les mailles brutes.

III.5.1.3. Terme de diffusion :

L'expression pour les termes de diffusion vient d'une intégration au –dessus du domaine de problème après la multiplication par la fonction pesante [10].

$$\text{Diffusion contribution} = \int W^e \frac{\partial}{\partial x}\left(T\emptyset \frac{\partial \emptyset}{\partial x}\right) d(vol) + \int W^e \frac{\partial}{\partial y}\left(T\emptyset \frac{\partial \emptyset}{\partial y}\right) d(vol) \quad \text{(III-21)}$$

III.6. Conclusion :

Les modèles physiques mis en place dans le chapitre précédent permettent de prendre en compte tous les comptages entre les principaux phénomènes physiques entrant en jeux, et le passage du domaine contenu au domaine discontinu pour la résolution du problème. Dans ce chapitre on a présenté les trois grandes méthodes numériques qui sont utilisées généralement pour la résolution des systèmes d'équations aux drivées partielles, et choisie la méthode des éléments finis pour discrétise la forme générale des équations du système et l'équation de chaleur.

CHAPITRE : IV

RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1. Introduction :

L'avantage des simulations numériques et de pouvoir étudier de nombreuses configurations en un minimum de temps. Le présent chapitre établit l'application de l'outil ANSYS APDL pour la simulation de l'incendie en tunnel.

Cette chapitre est consacré essentiellement à l'exploitation des résultats des simulations numérique. Pour cela, nous présentons les résultats de notre étude de la simulation numérique comparé avec les résultats expérimentaux de GIACHETTI [50]. Ce chapitre inclut aussi une étude de l'influence des positions des ventilateurs et des accès sur la dispersion des gaz issus d'un foyer d'incendie.

IV.2. Identification :

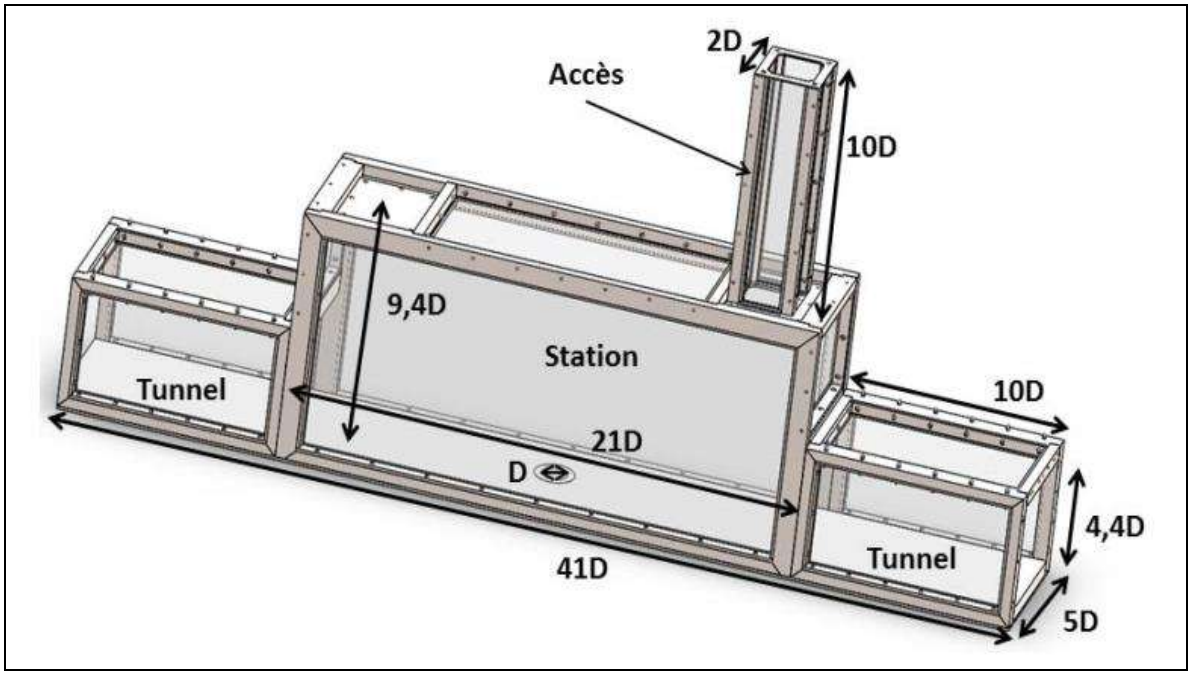


Figure IV.1 : Présentation de la veine d'essais et ses dimensions.

IV.3. Configuration d'étude :

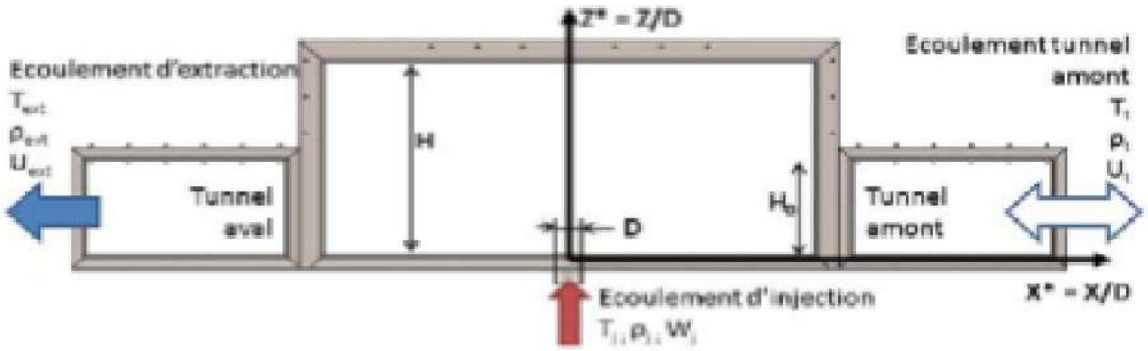


Figure IV.2 : Géométrie globale du domaine de calcul

La figure **IV.2** Présente la géométrie étudiée, composée d'une partie centrale rectangulaire d'une hauteur H représentant la station. De part et d'autre de la station, des ouvertures correspondent aux tunnels amont et aval de hauteur H_0=4.4D.

IV.4. Création de la géométrie :

Dans un premiers temps, l'utilisateur de logiciel est tenu de choisir un système de coordonnées afin de caractériser la géométrie. Les domaines pouvant varier suivant les études, ANSYS APDL permet d'établir la géométrie du système étudié.la géométrie est construite à partir de points servent à créer des lignes et ensuite les différentes surfaces de la géométrie comme le montre la figure IV.2.

IV.5. Génération de maillage :

Le premier travail à accomplir dans la réalisation d'une simulation numérique est la définition d'un maillage adapté à l'écoulement. De sa qualité dépend la précision des calculs. Un nombre de mailles insuffisant fera diverger les calculs ou sera responsable d'une diffusion numérique trop importante. Il faut trouver un compromis entre le nombre de mailles et le temps de calcul qui augmente considérablement avec le raffinement de la discrétisation du domaine.

Une étude numérique de l'influence du maillage sur l'écoulement d'air est réalisée. Le domaine de calcul est bidimensionnel. Trois simulations avec trois maillages sont réalisées. Le raffinement du maillage n'entraine pas de modification de l'écoulement en partie central du domaine.

Le maillage utilisé pour les simulations numériques est un maillage rectangulaire qui correspond le mieux pour un équilibre entre la précision et le temps de calcul par rapport à d'autres maillages.

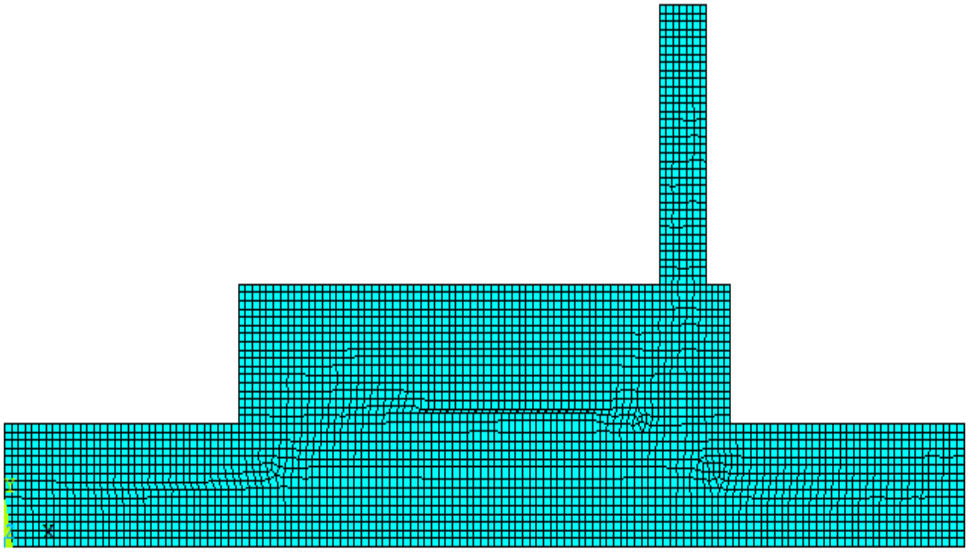


Figure IV.3 : représentation de maillage du tunnel.

Propriétés	air	Co2
Densité [kg/^3]	1.2	0.977
Viscosité [pa/s]	0.2 e-5	1.49 e-5
Conductivité [w/k°]	0.0234	0.0145
Chaleur spécifique [kj/kg.k°]	1.004	0.848

Tableau IV.1 : propriétés de l'air et Co2.

IV.6. Condition initial et condition aux limites :

Les conditions initiales représentent l'état de base du modèle à l'instant où commence la simulation. Elles s'appliquent sur des surfaces du domaine de calcul,

Une condition de pression nulle est imposée à l'entrée de la maquette. La température est impose et correspond aux conditions d'essais. Le schéma suivant présent les conditions limites imposent.

Schéma

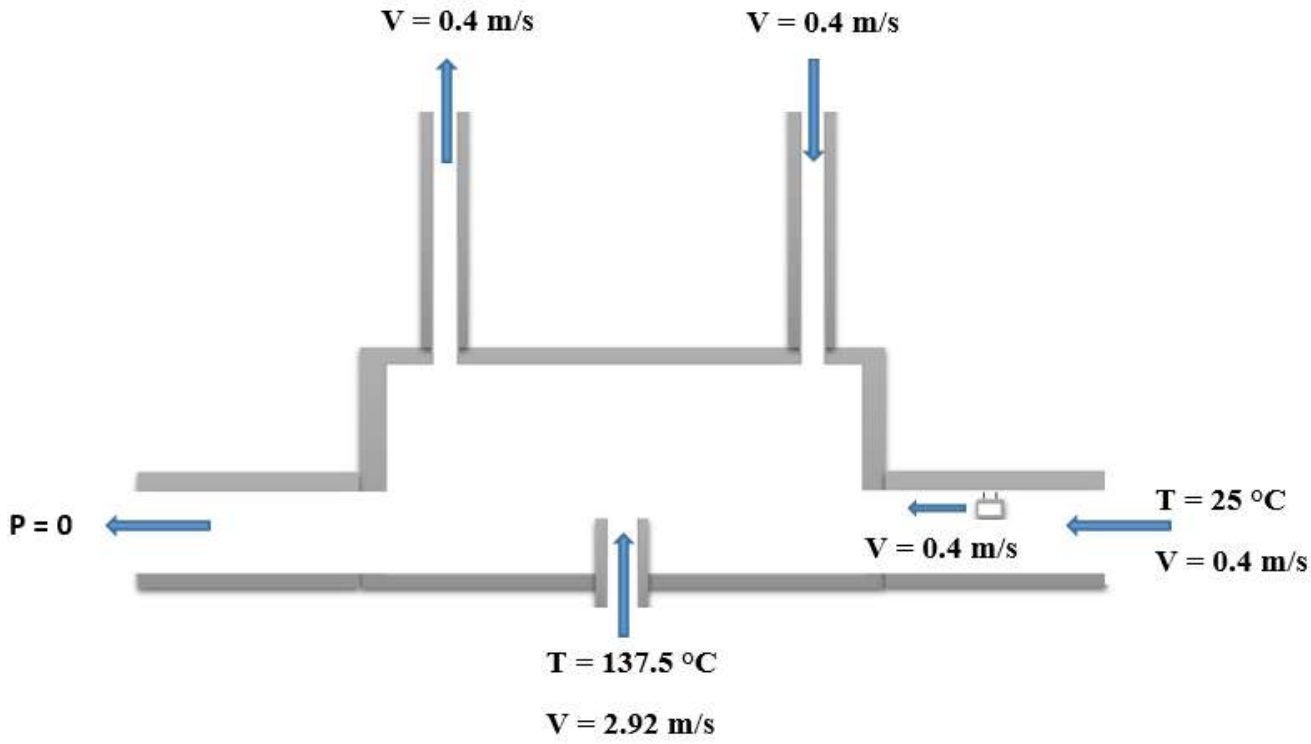


Figure IV.4 : Choix des conditions initiales et conditions aux limites.

IV.7. Description de l'écoulement :

Afin de comprendre l'organisation des écoulements, les champs de vitesse ont été mesurés essentiellement dans le plan médian de la station.

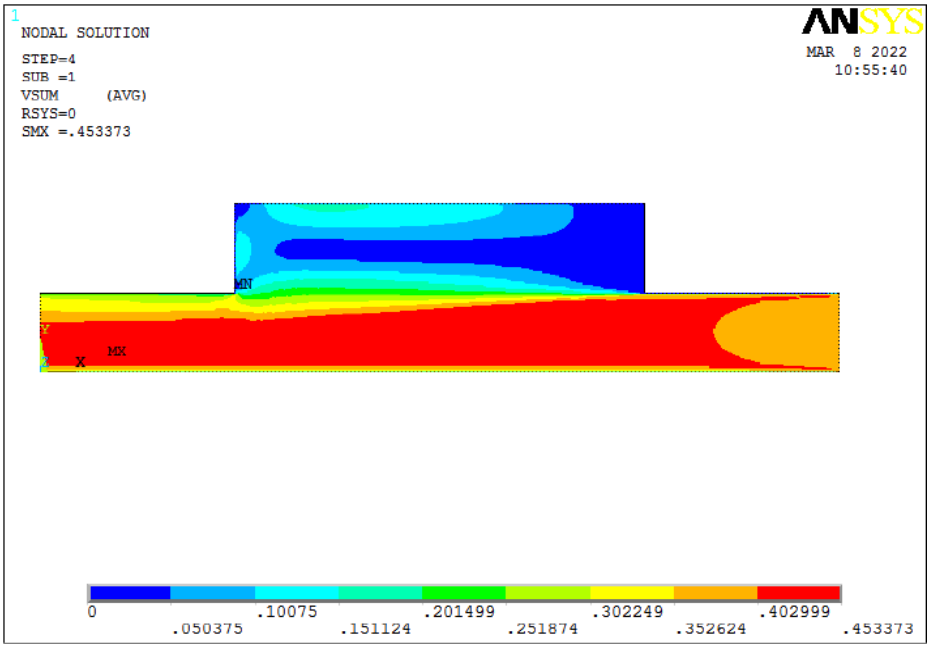


Figure IV.5 : les champs moyens de composante de vitesse V.

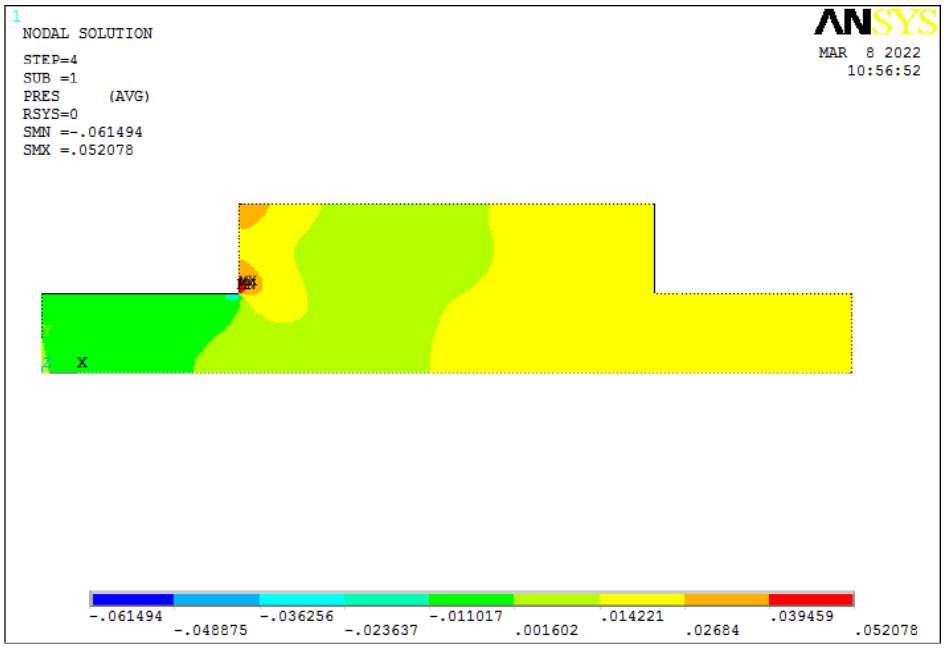


Figure IV.6 : contour de la Pression

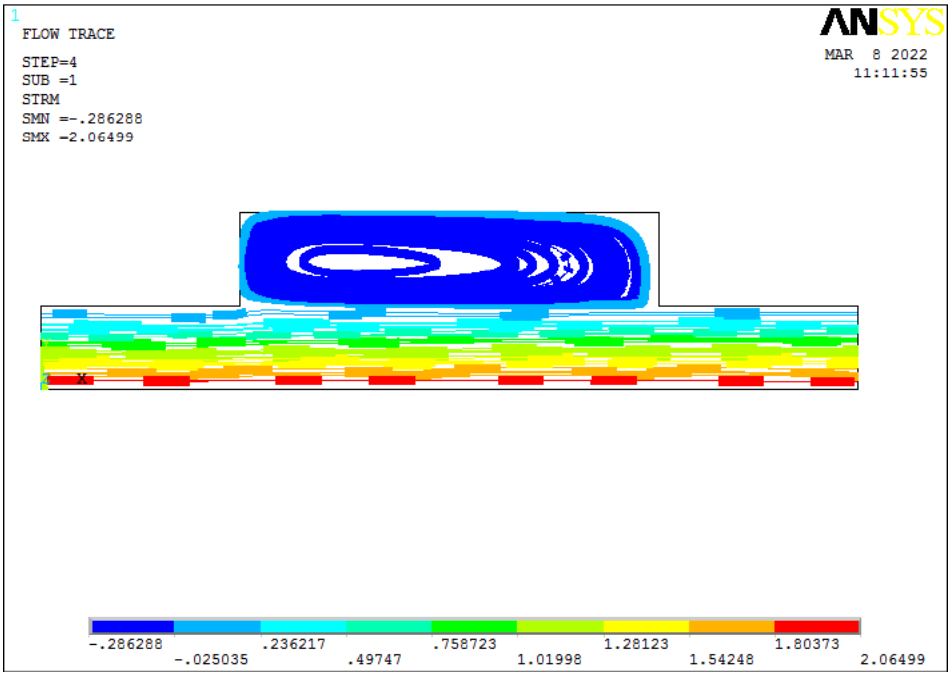


Figure IV.7 : Représentation spatiale de la circulation de l'air

Les **figures IV.5** et la **figure IV.6** présente les champs moyen de composante de vitesse V et la dispersion de la Pression respectivement.

L'écoulement traversier provenant du tunnel amont et se dirigeant vers le tunnel aval occupe la quasi-totalité des tunnels et la moitié de la partie basse de la veine. Dans la partie centrale (au niveau de la station) et en partie haute, l'écoulement s'oriente horizontalement.

Trois endroits stratégiques de la veine (cercles rouges-**Figure IV.6**) à savoir dans le tunnel amont, au centre de la station et dans le tunnel aval.

La **figure IV.7** présente la configuration d'écoulement pour la vitesse horizontale dans le tunnel amont. Nous changeons les points de mesure et l'écoulement a un mouvement de l'extérieur vers l'intérieur du tunnel.



Figure IV.8 : Configuration de test pour les profils de vitesse dans le tunnel amont.

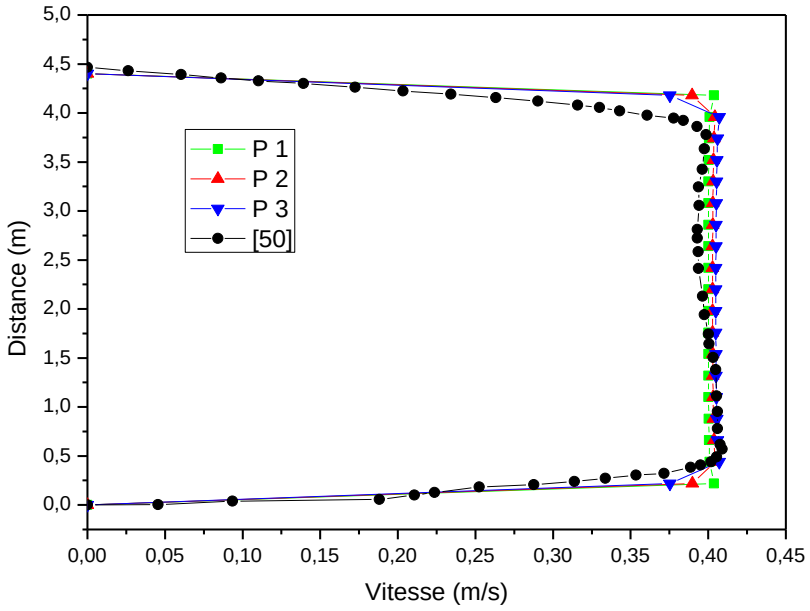


Figure IV.9 : Profile de vitesse transversale dans le tunnel amont

La **figure IV.9** compare, pour le cas V=0.4 m/s, les profils de vitesse longitudinale. On Remarque que les résultats numériques trouvés sont on bon accord avec les mesures expérimentales [50].

Les vitesses, présentées figure IV.9 sont très stables en dehors des couches limites. Par contre avec des vitesses d'air très faibles de l'ordre de 0.4 m/s, l'écoulement reste fortement sensible aux oscillations extérieures.

La **figure IV.10** indique l'endroit de mesure de vitesse dans le tunnel aval.



Figure IV.10 : Configuration de test pour les profils de vitesse dans le tunnel aval.

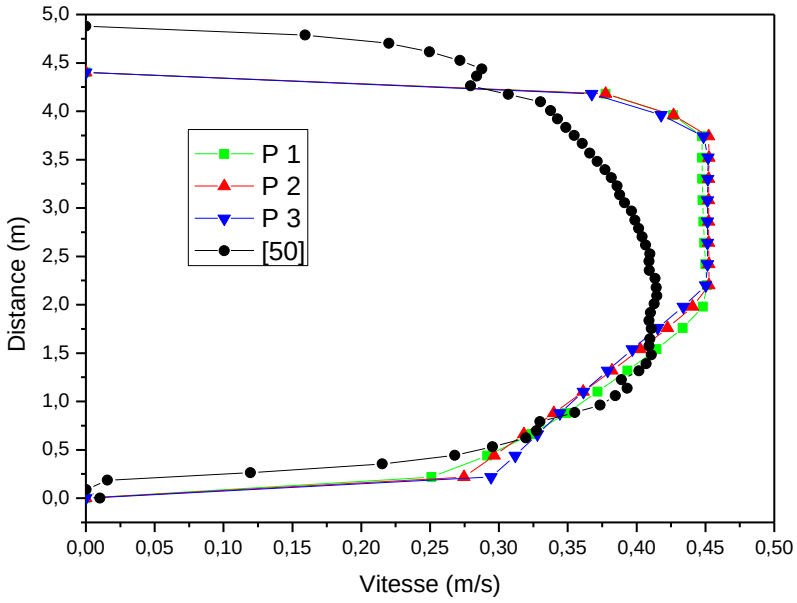


Figure IV.11 : Profil de vitesse transversale dans le tunnel aval.

La **figure IV.11** montre dans le tunnel aval, une sur vitesse est présente vers le premier 1/3 de la hauteur. Cette dernière s'explique par la forme de la veine qui force une partie de l'écoulement à se contracter brutalement du haut vers le bas, engendrant une orientation de l'écoulement en direction du sol du tunnel. Cette orientation des écoulements crée alors de fortes fluctuations qui se traduisent par des niveaux d'intensité turbulente proche des 22 % ensuite décroit.

IV.8. Cas référance :

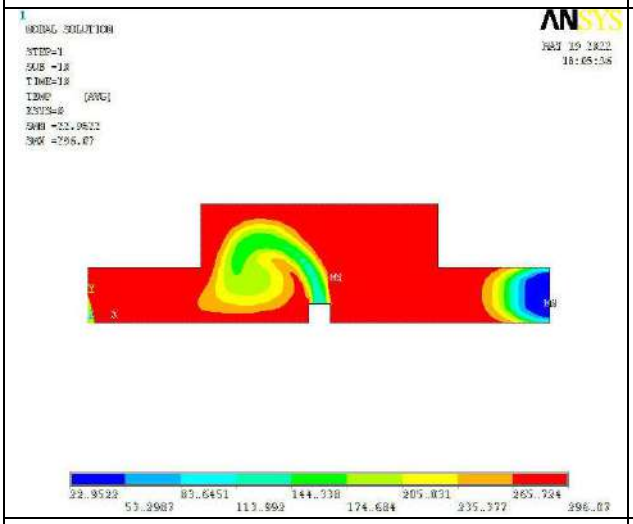
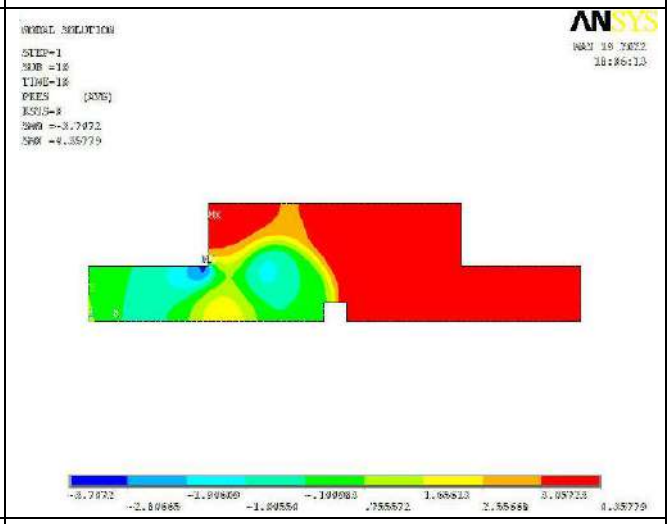
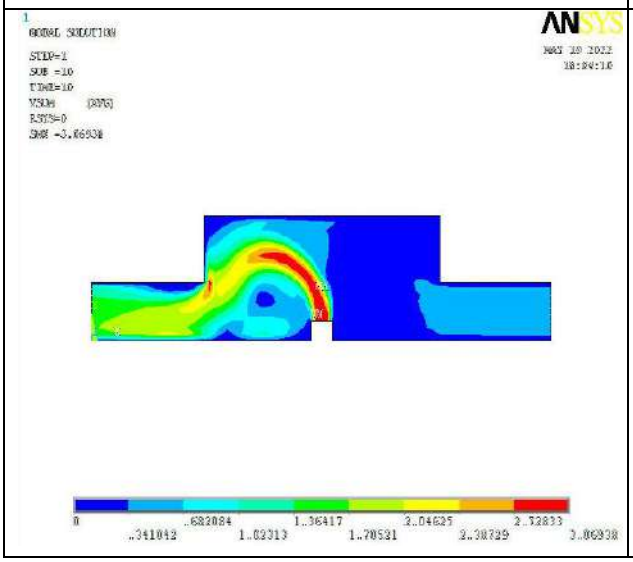
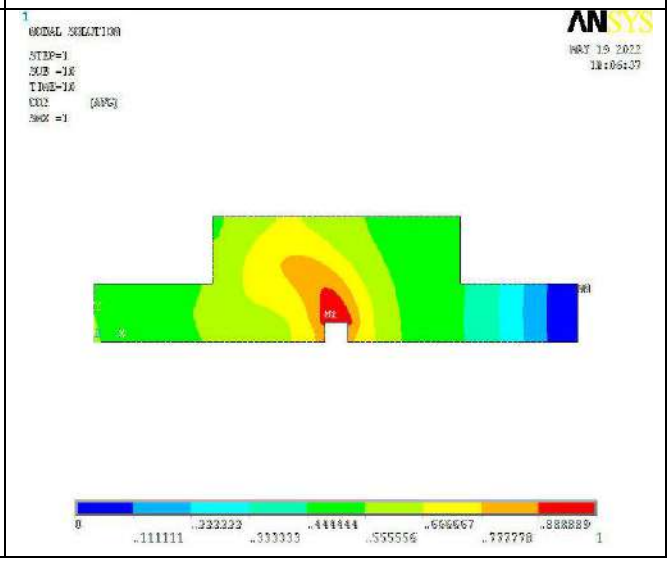
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.2 : Représentation spatiale de la dispersion de la température, la pression, la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

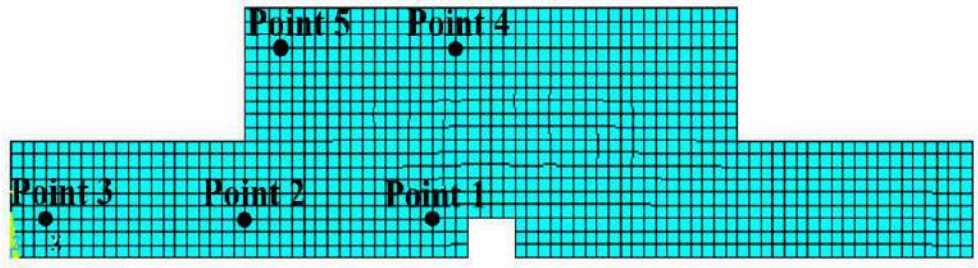


Figure IV.12 : Représentation les points.

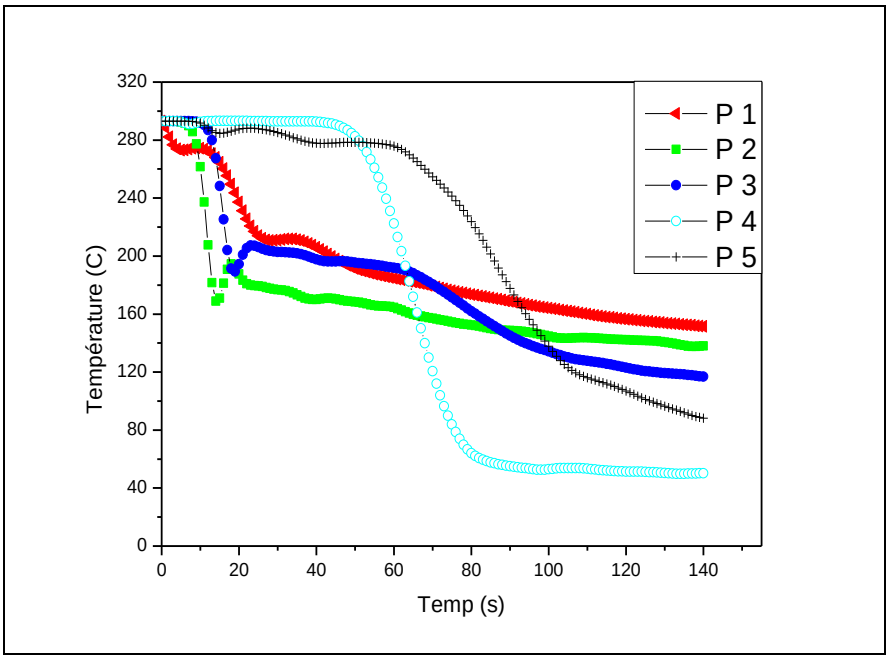


Figure IV.13 : Profil de température dans le tunnel.

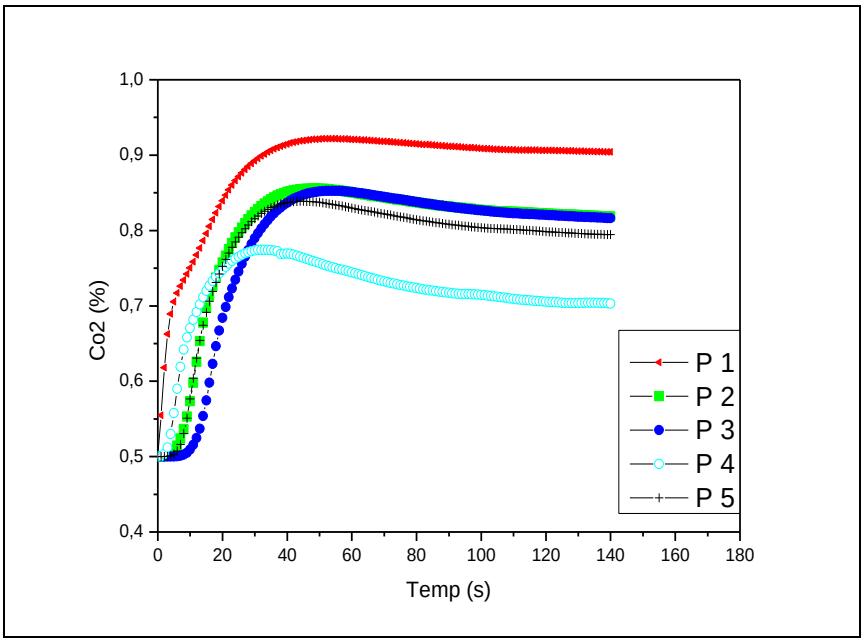


Figure IV.14 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

La **figure IV.14** montre les dispersions de CO2 à Cinque différentes distances. Cette figure montre que ces dispersions augmentent en s'éloignant de la source d'émission des gaz.

IV.9. Simulation 1 (sans axes, ventilateur en amont) :

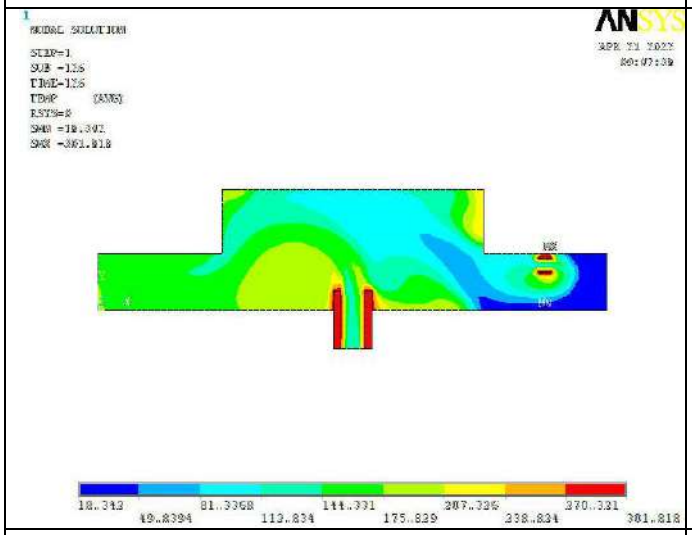
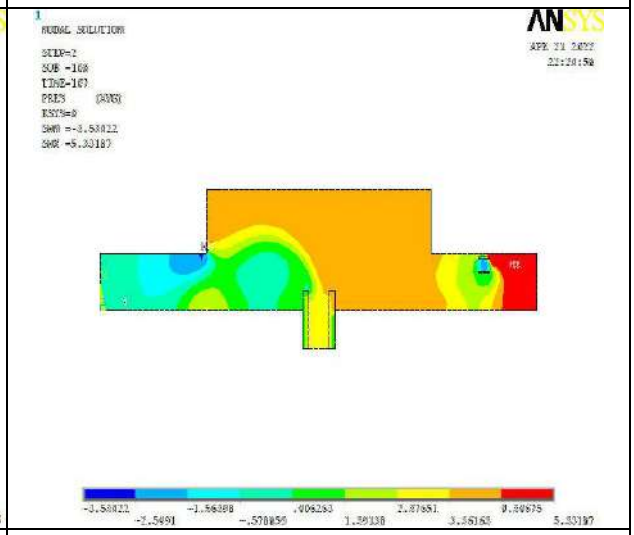
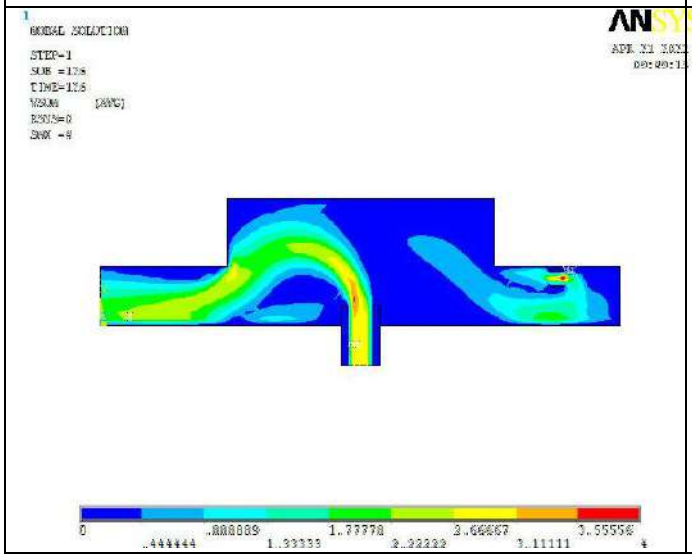
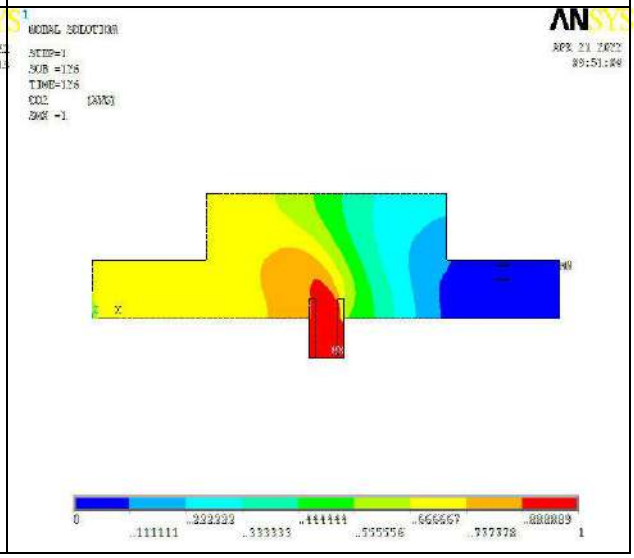
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.3 : Représentation spatiale de la dispersion de la température , la pression , la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

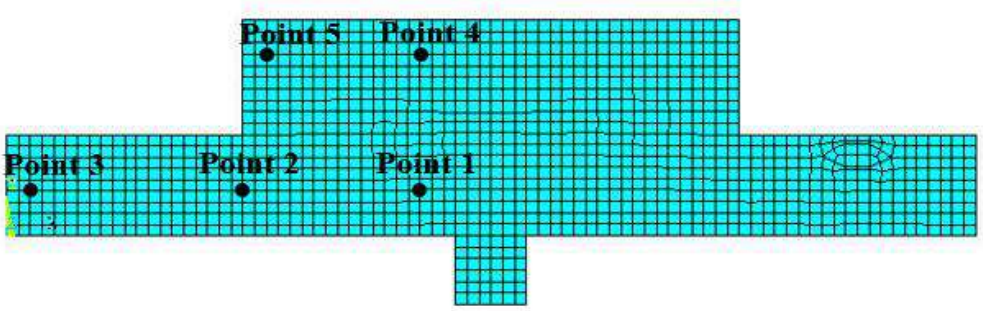


Figure IV.15 : Représentation les points.

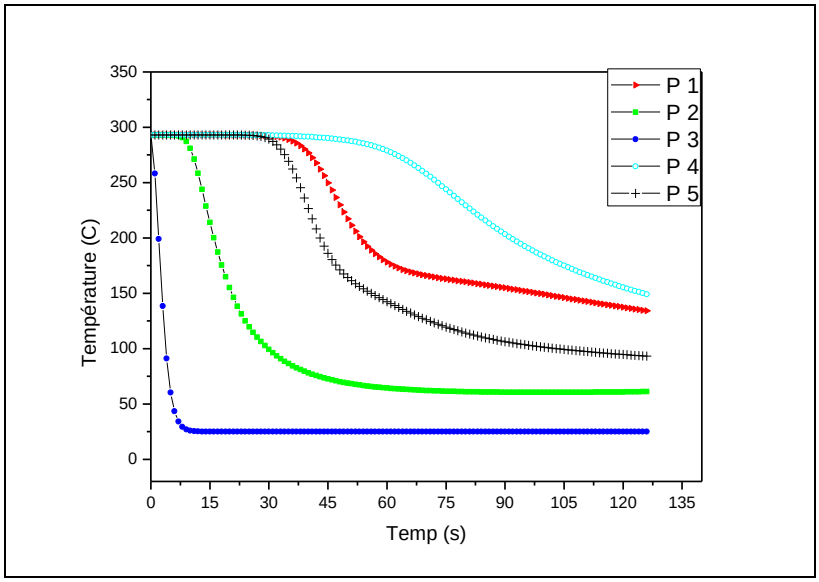


Figure IV.16 : Profil de température dans le tunnel.

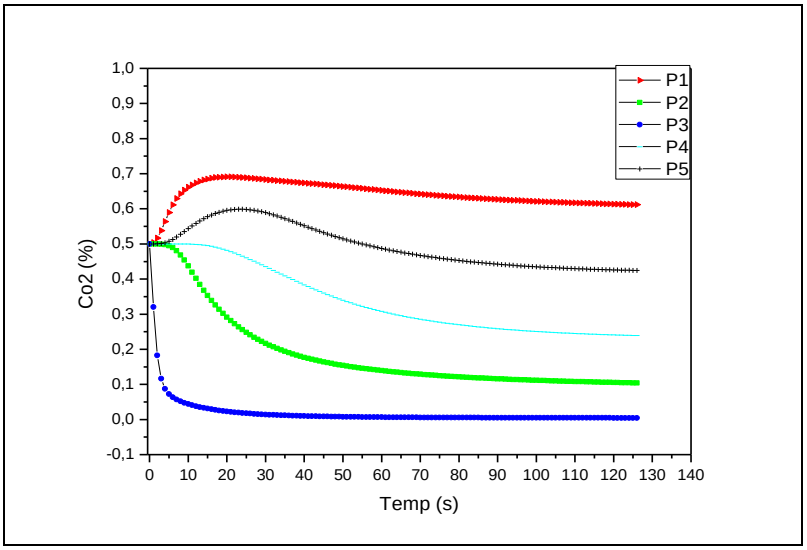


Figure IV.17 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

IV.10. Simulation 2 (sans axes, ventilateur en aval) :

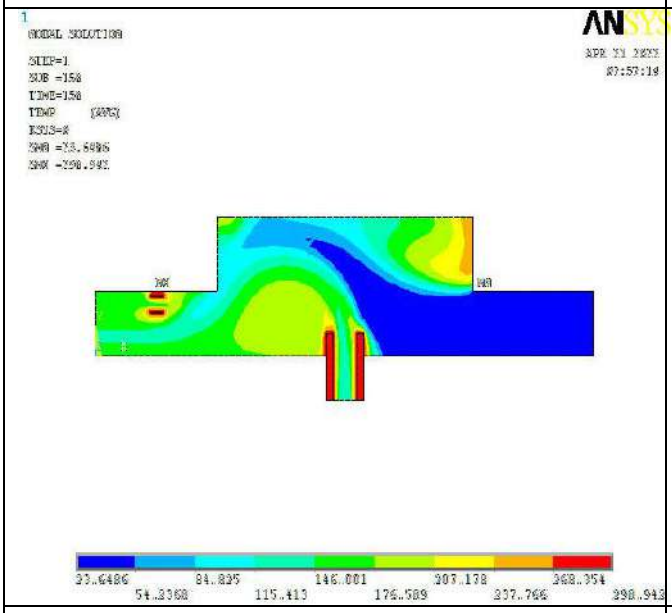
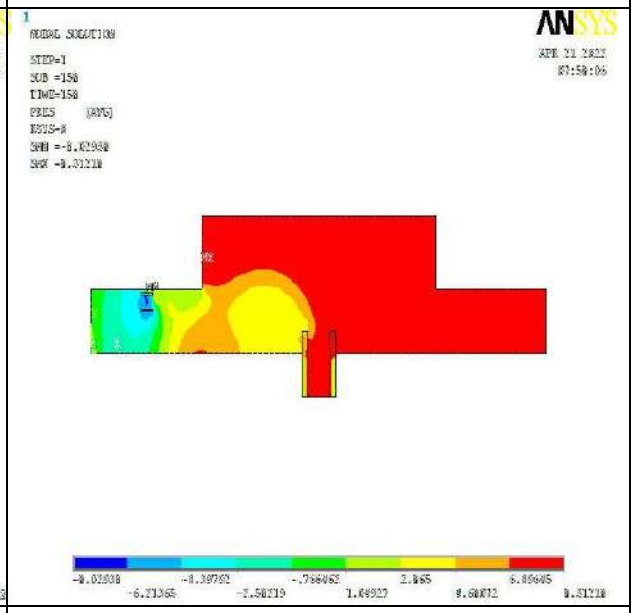
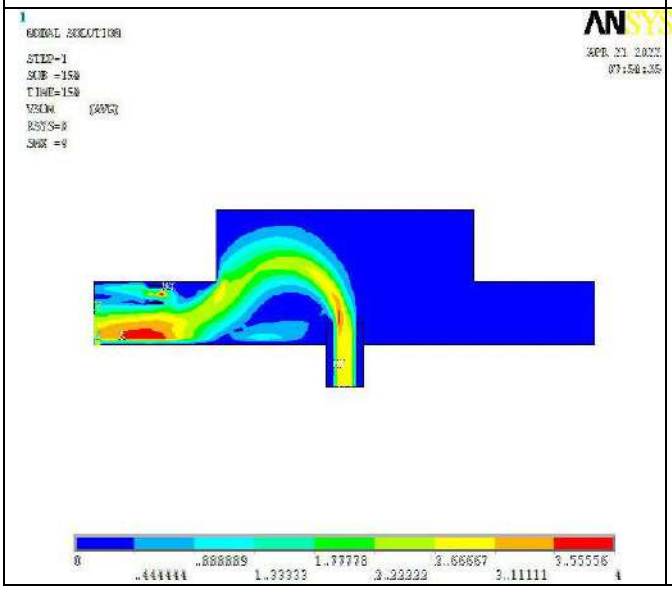
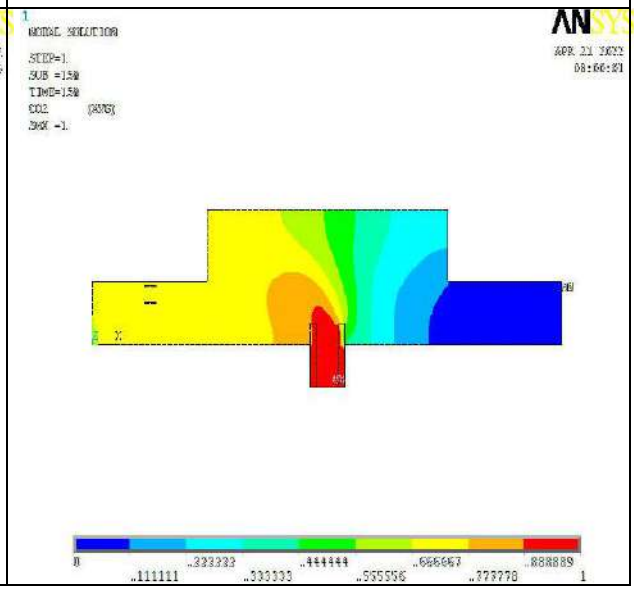
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.4 : Représentation spatiale de la dispersion de la température et la pression et la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

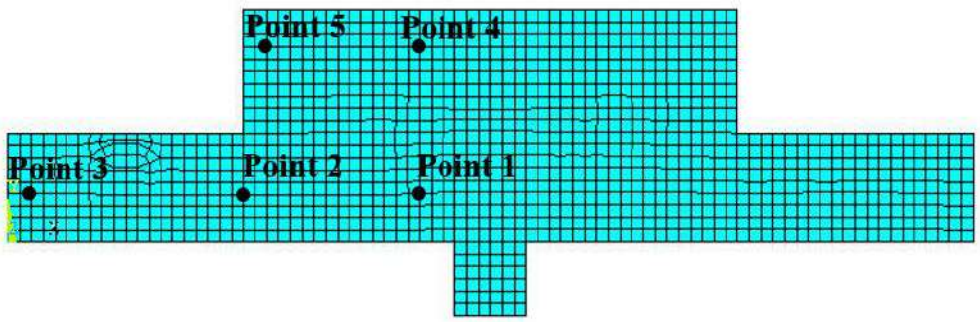


Figure IV.18 : Représentation les points.

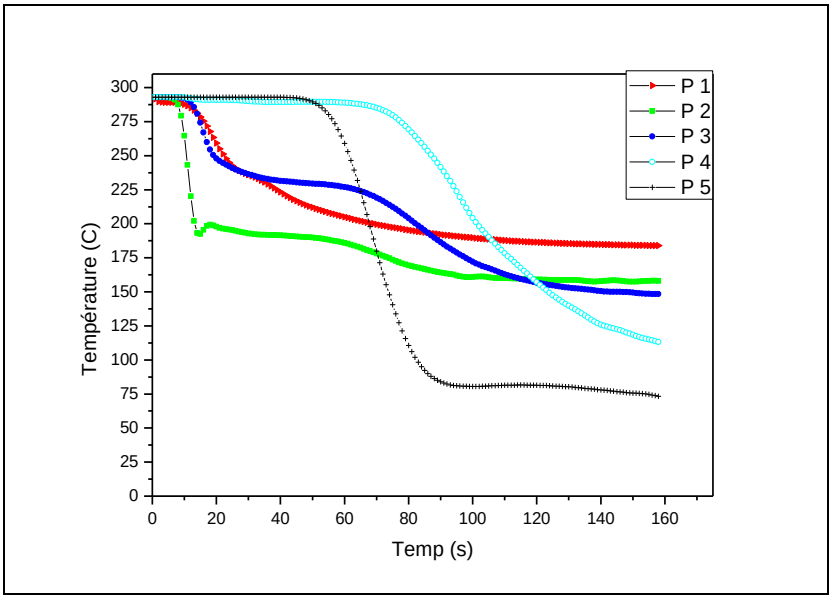


Figure IV.19 : Profil de température dans le tunnel.

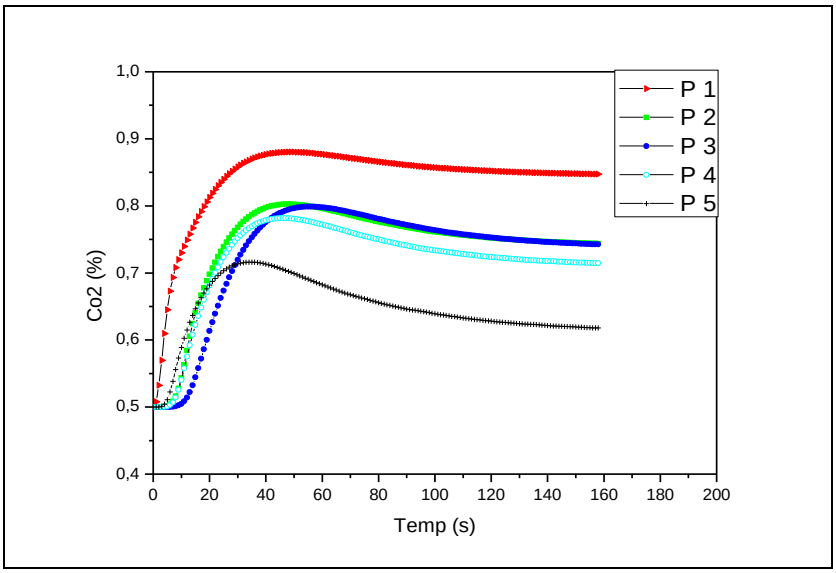


Figure IV.20 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

IV.11. Simulation 3 (1 axe, ventilateur en amont) :

Lorsqu'il n'y a qu'un seul accès et un seul ventilateur et que ces derniers se trouvent situé en amont du jet chaud, l'organisation des écoulements à l'intérieur de la station change significativement par rapport au cas de référence.

Les résultats obtenus sont présentés sur le **Tableau IV.**

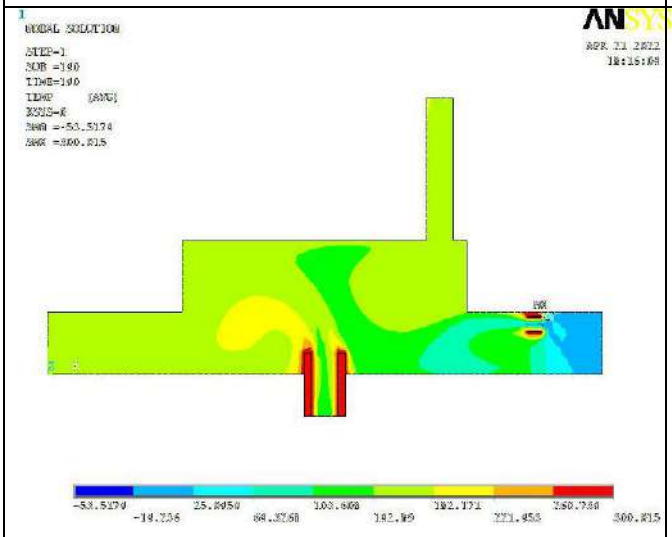
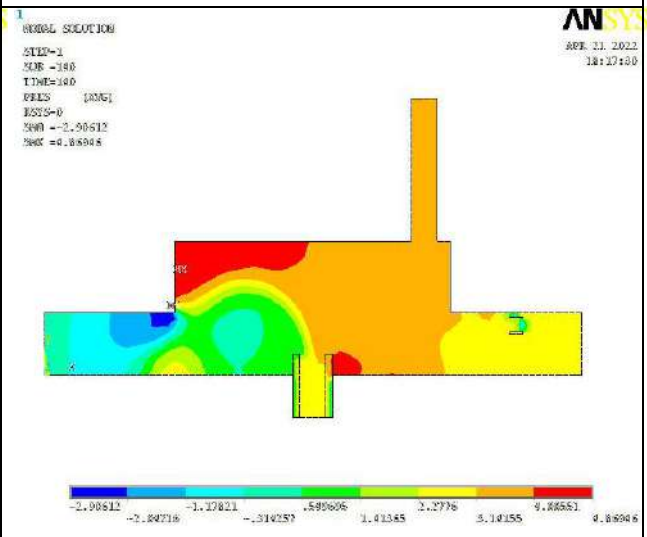
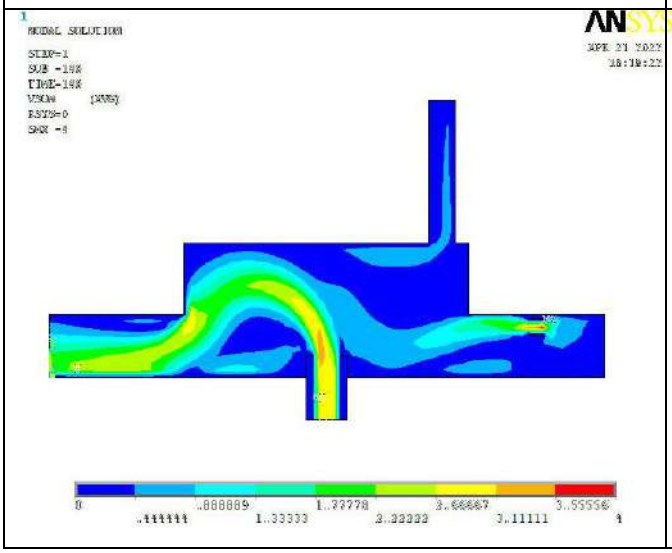
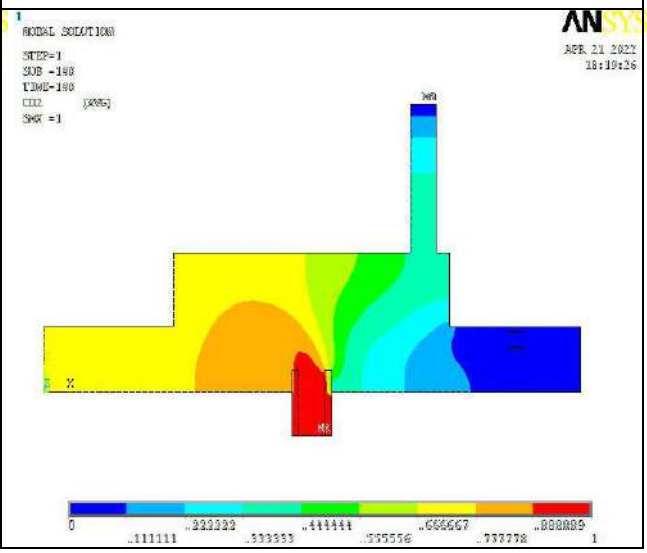
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.5 : Représentation spatiale de la dispersion de la temperature , la pression , la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

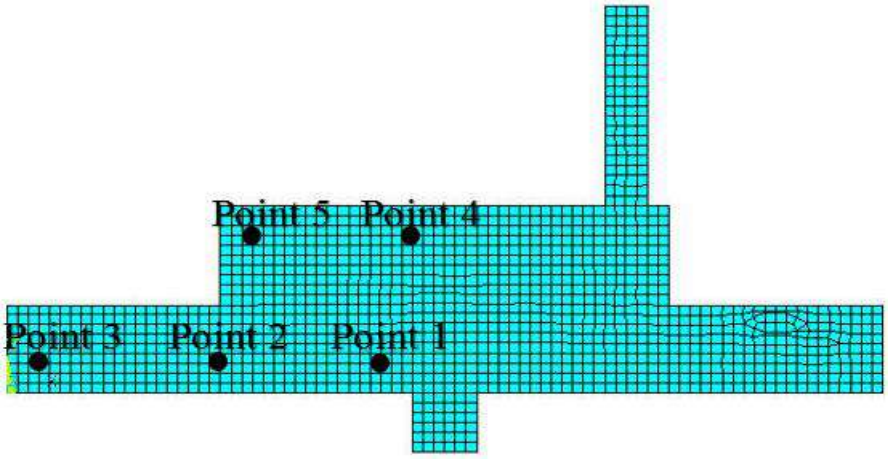


Figure IV.21 : Représentation les points.

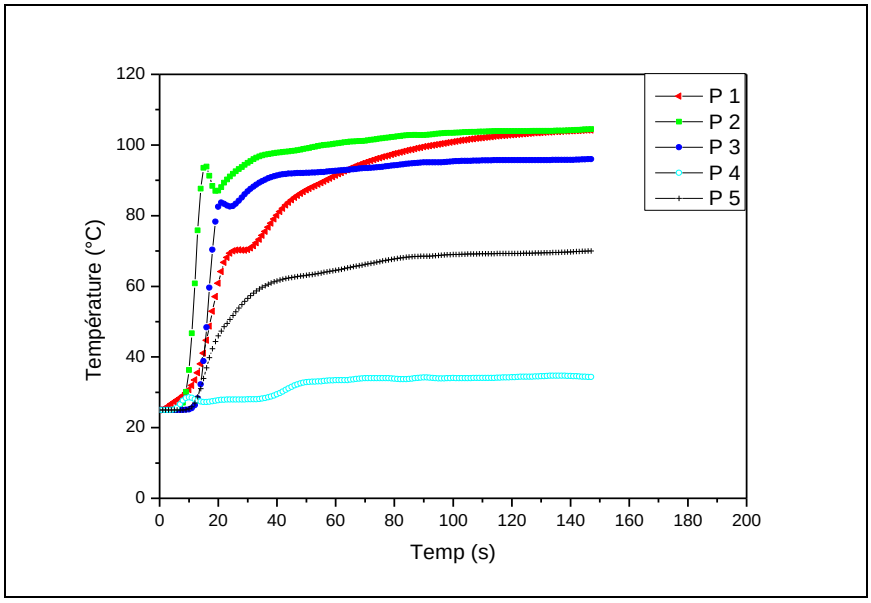


Figure IV.22 : Profil de température dans le tunnel.

La **figure IV.22** montre que les températures les plus élevées sont atteintes à proximité de la source. Ces températures diminuent progressivement en s'éloignant du foyer.

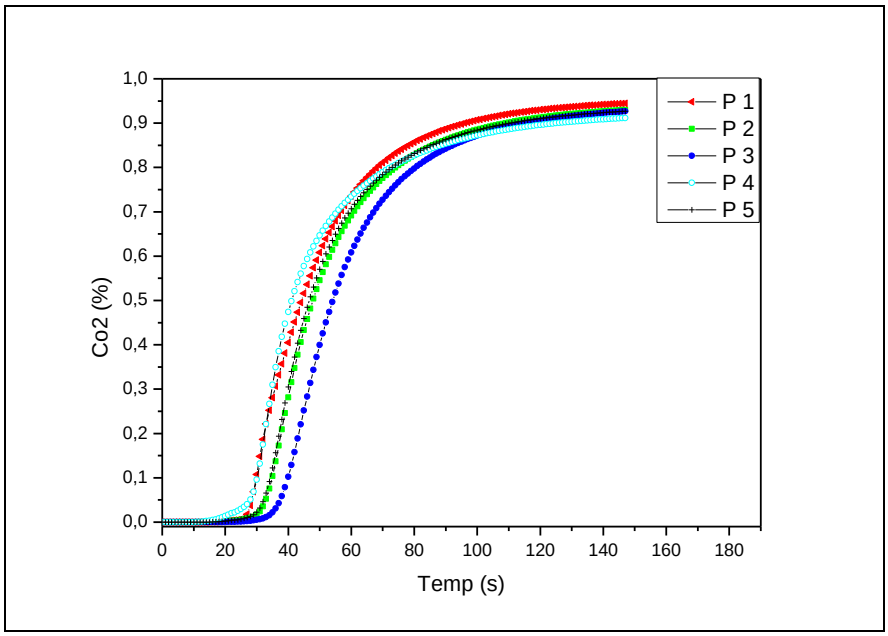


Figure IV.23 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

La figure **IV.23** et Tableau **IV.5** montrent l'effet du taux de ventilation sur le niveau de CO2. Le CO2 abondantes formées autour de la base du feu est dirigées en bas, et la fiable vitesse de ventilation provoque les produits plus toxiques due à la réduction de l'oxydation. Au-dessus de la source du feu, le carburant abondant dans la zone de combustion facilite les formations de CO2. Pour la vitesse d'air 0.4 m/s, la fraction massique de CO atteint un minimum hors de la source du feu due à l'augmentation de l'oxydation, et après CO2 augmente légèrement en raison de la réaction lente dans la zone riche en carburant et de moindre oxygène. À partir de la vitesse de ventilation de 0.4 m/s, nous atteignons un feu bien ventilé, CO2 semblent d'être brutalement supprimées en amont la source du feu.

IV.12. Simulation 4 (1 axe, ventilateur en aval) :

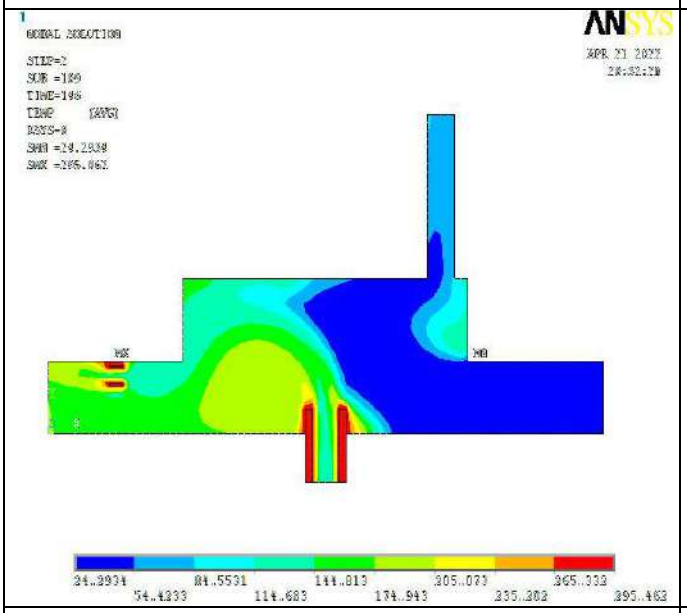
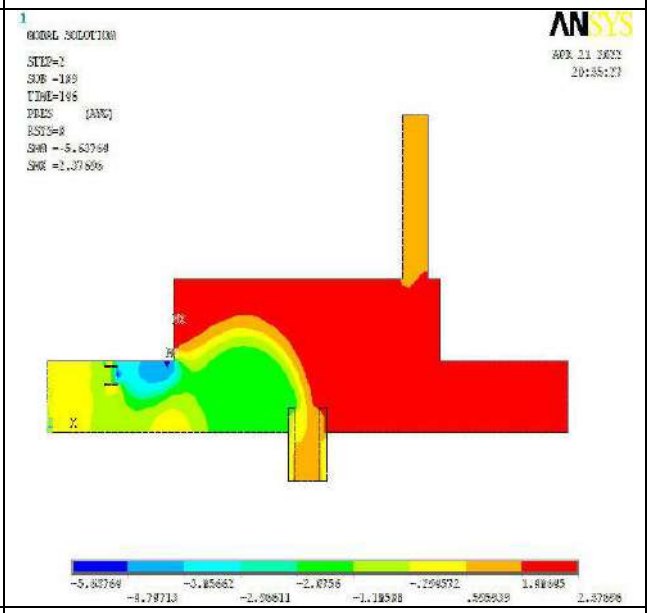
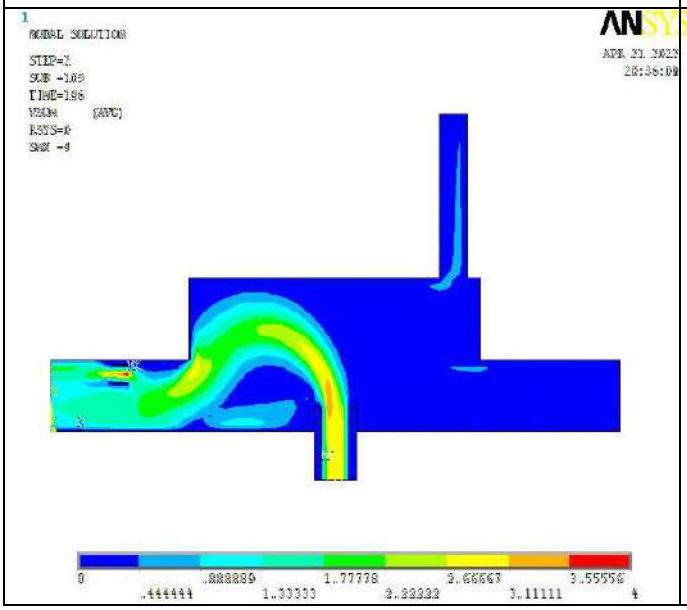
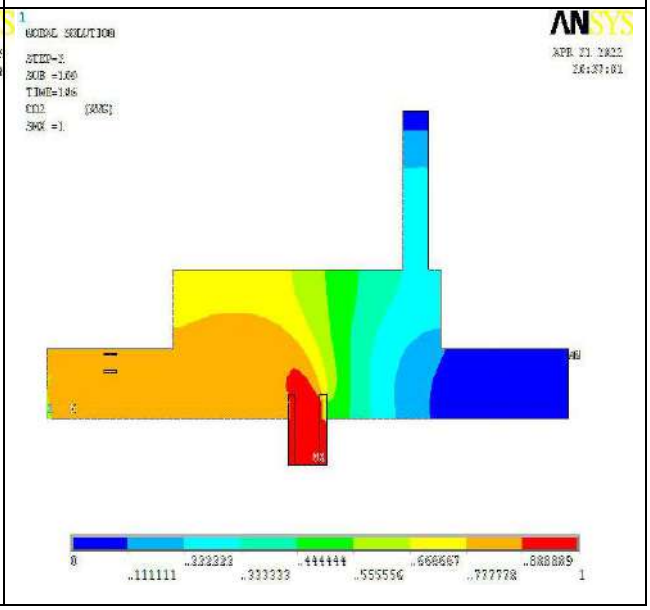
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.6 : Représentation spatiale de la dispersion de la temperature , la pression , la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

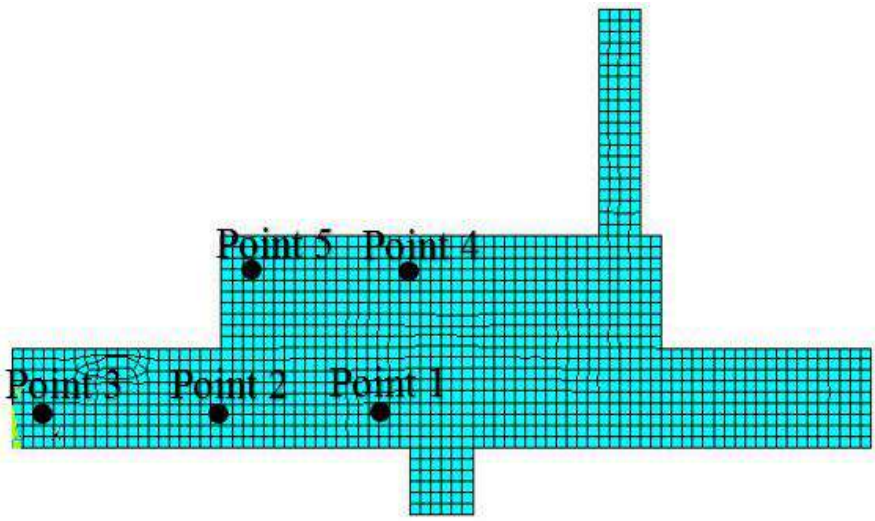


Figure IV.24 : Représentation les point.

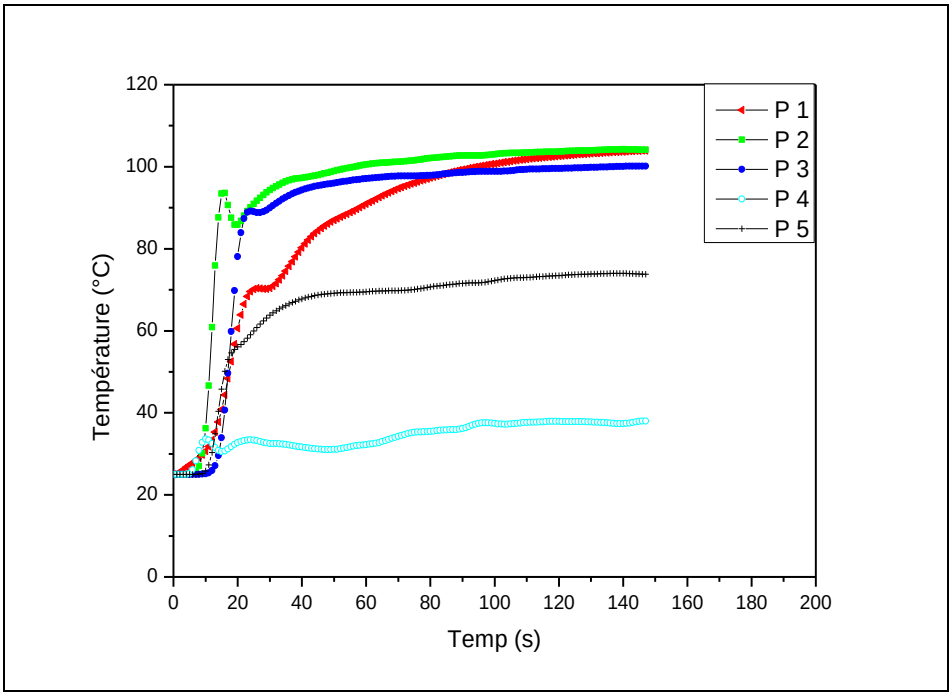


Figure IV.25 : Profil de température dans le tunnel.

Les températures relevées à droite (en aval) du foyer sont maintenant plus élevées que celles situées à gauche (en amont) du foyer. Cette dissymétrie peut être expliquée par la présence de l'accès et par la direction de l'écoulement résultant de la ventilation.

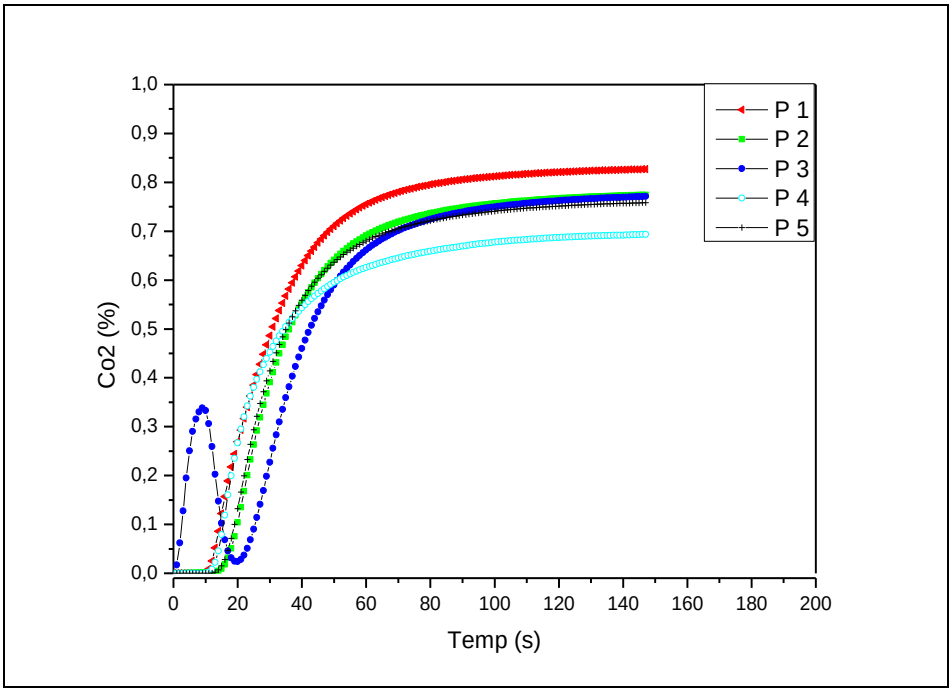


Figure IV.26 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

IV.13. Simulation 5 (2 axes, ventilateur en amont) :

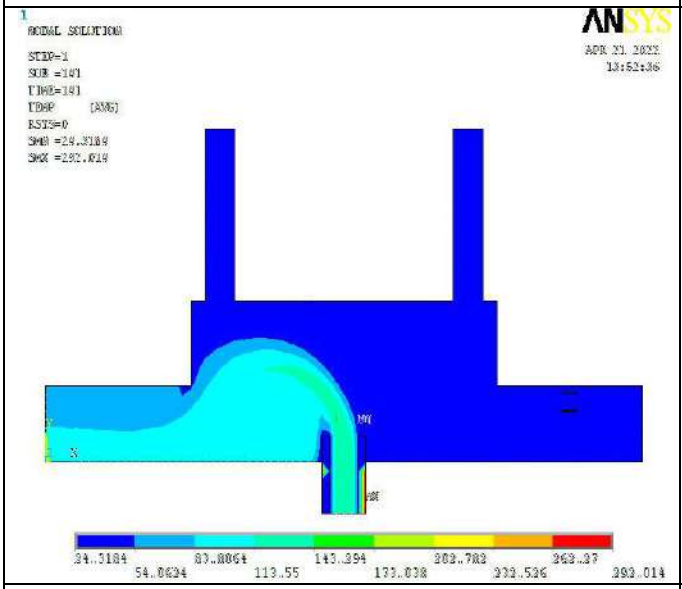
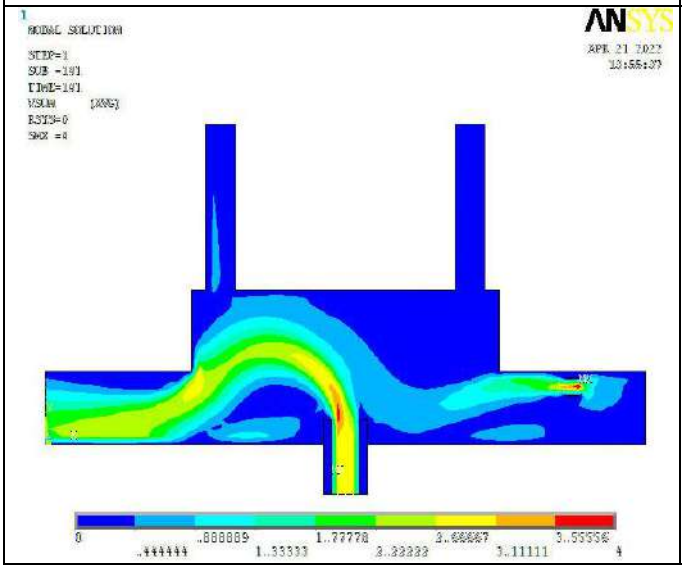
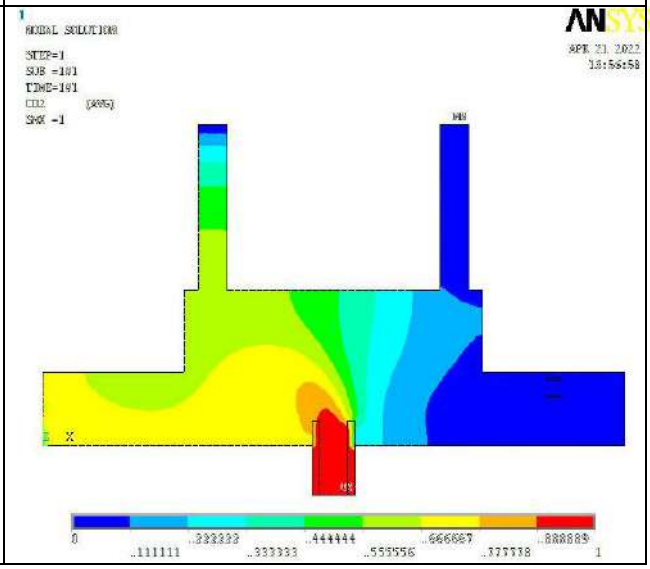
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.7 : Représentation spatiale de la dispersion de la température , la pression , la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

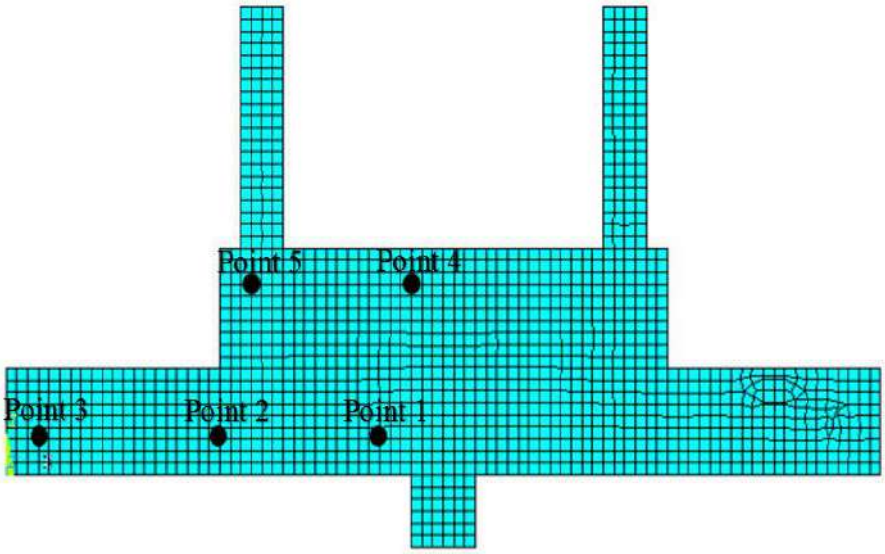


Figure IV.27 : Représentation les points.

En effet, que ce soit les écoulements dans le tunnel amont, dans le tunnel aval ou même le comportement du jet, l'organisation des champs de vitesse est quasiment similaire quel que soit l'emplacement de l'accès retenu. Seule la position des écoulements de retour issus des écoulements rampants est inversée et localisée de manière symétrique par rapport au jet.

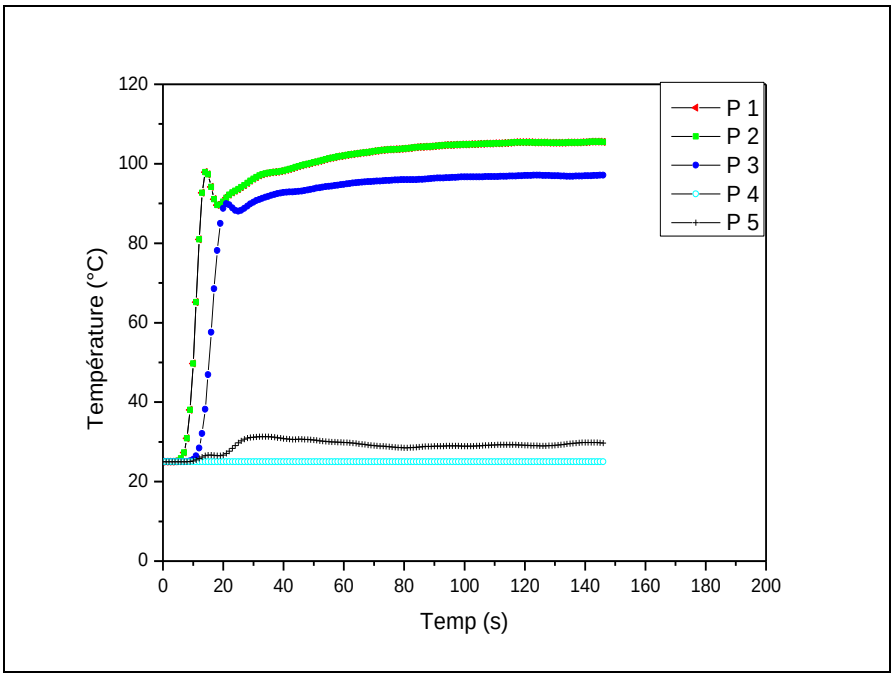


Figure IV.28 : Profil de température dans le tunnel.

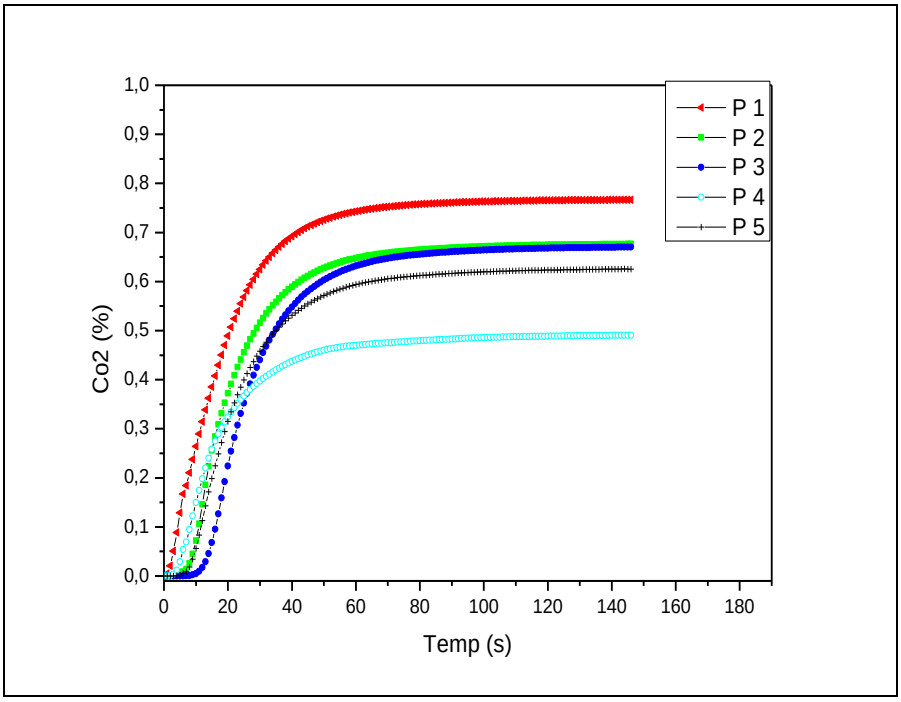


Figure IV.29 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

IV.14. Simulation 6 (2 axes, ventilateur en aval) :

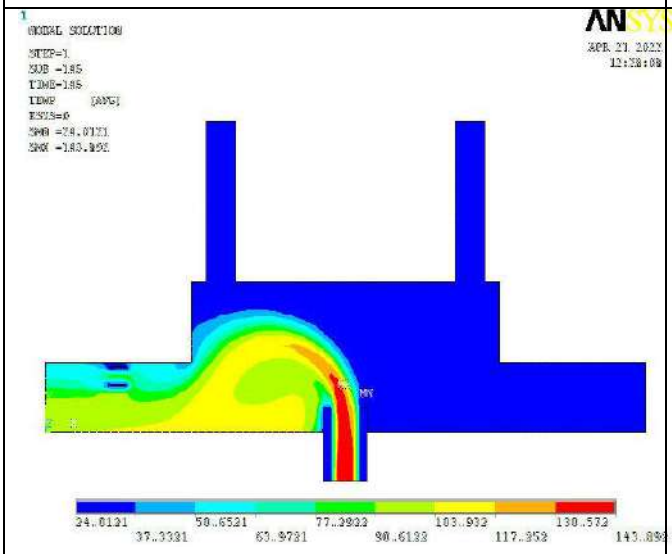
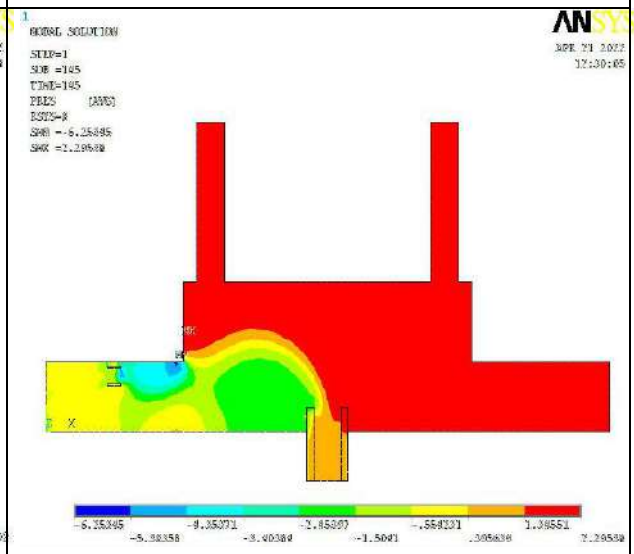
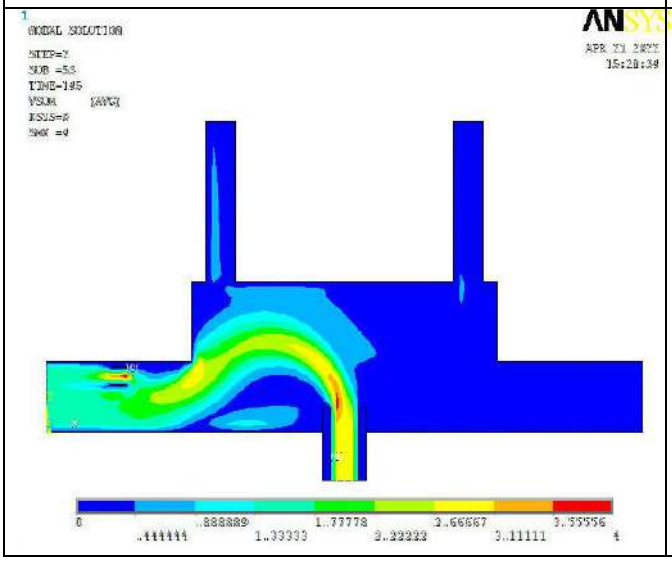
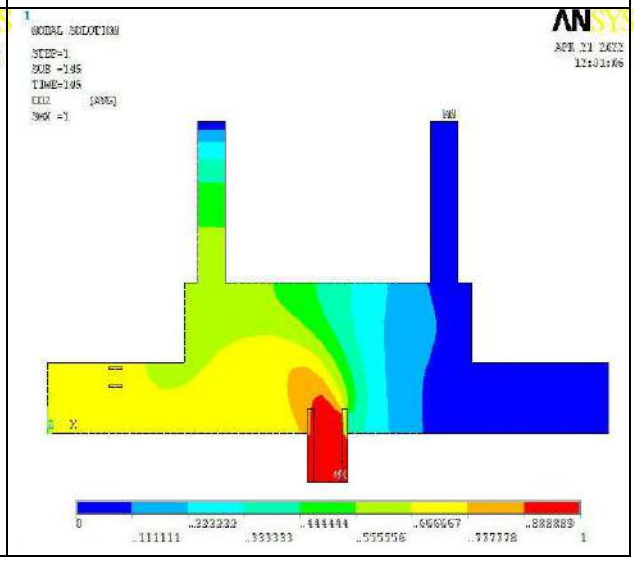
Température	Pression
	
Vitesse	**CO2**
	

Tableau IV.8 : Représentation spatiale de la dispersion de la température , la pression , la vitesse et la concentration du Co2 dans le temps.

Il a également été possible d'observer que le couplage des deux accès permettait, dans une moindre mesure, de réduire l'inclinaison du jet par rapport au cas sans accès (cas de référence).

Que ce soit avec un accès ou deux accès, ces derniers sont soumis à des remontées d'air chaud. Il y a donc fort logiquement présence d'effet cheminée dans toutes les configurations présentant des accès lorsqu'il n'y a aucune ventilation d'extraction.

Enfin, il est nécessaire de rappeler, que si les deux accès sont présents, l'air entrant par l'accès amont vient « pousser » sur le jet et l'air sortant par l'accès aval ainsi que la ventilation tirent sur cette colonne d'air chaud, aggravant davantage cette inclinaison. Le cas présentant l'inclinaison du jet la plus importante est alors le cas où les deux accès sont présents.

La présence d'une ventilation constitue une situation favorable au regard de la problématique du phénomène étudié. Celle-ci tend à s'opposer à l'apparition des remontées de fumées dans les accès.

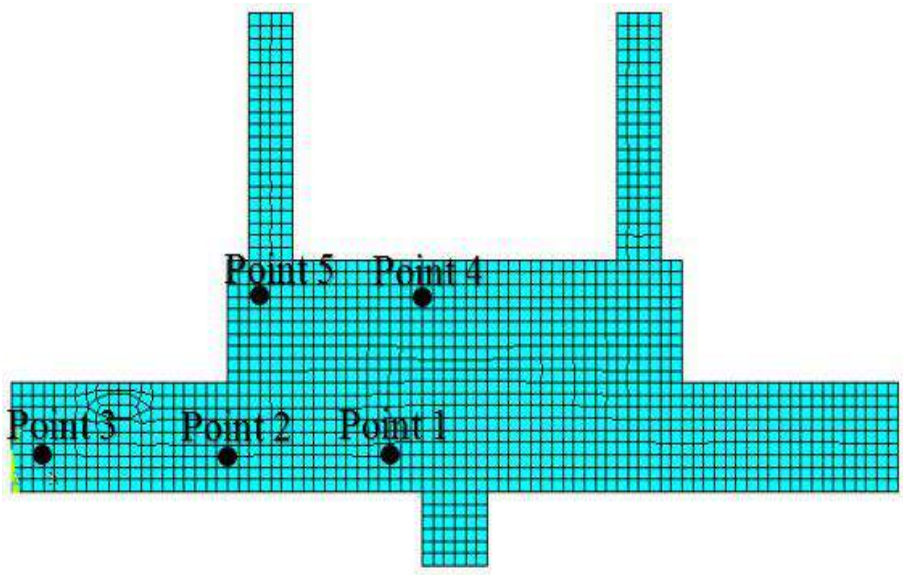


Figure IV.30 : Représentation les points.

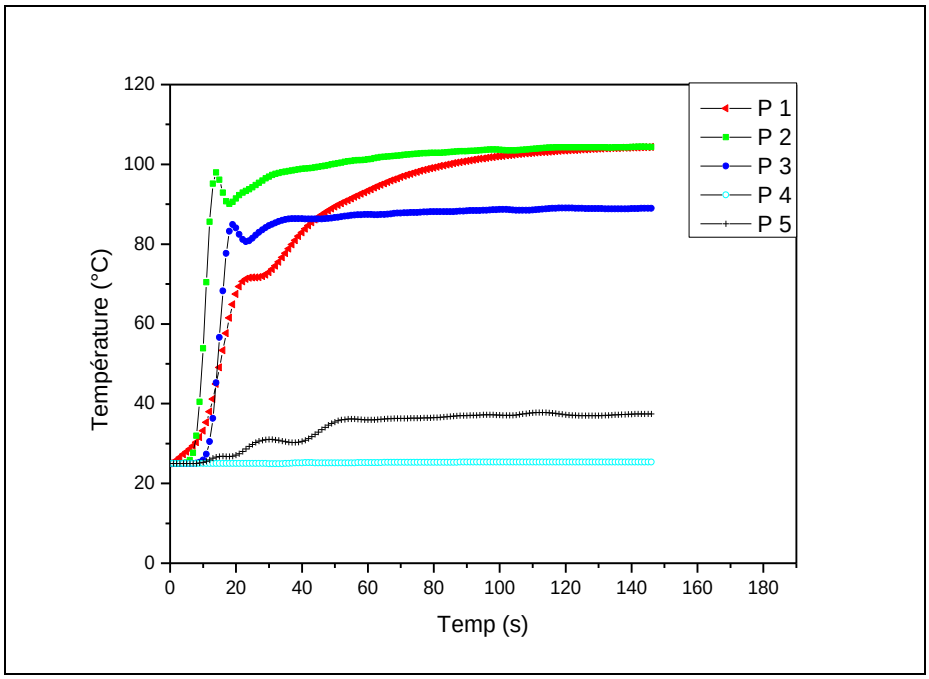


Figure IV.31 : Profil de température dans le tunnel.

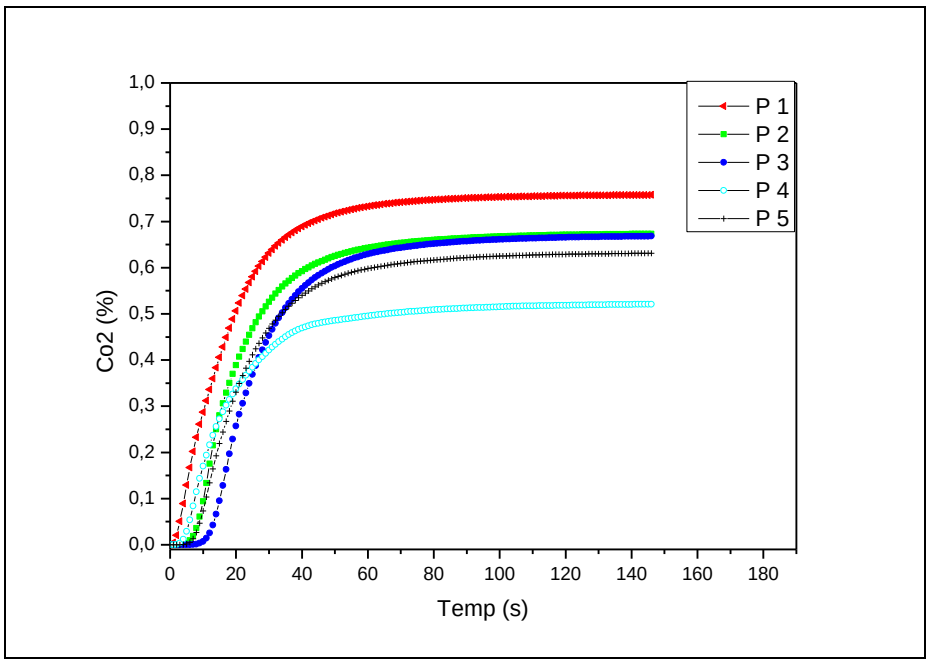
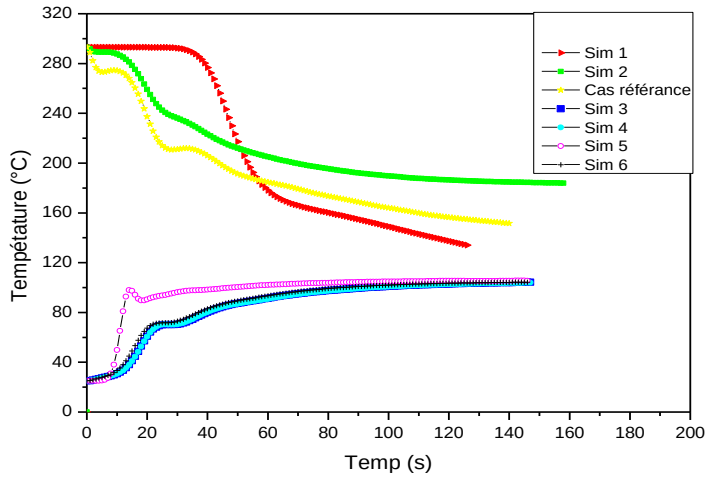
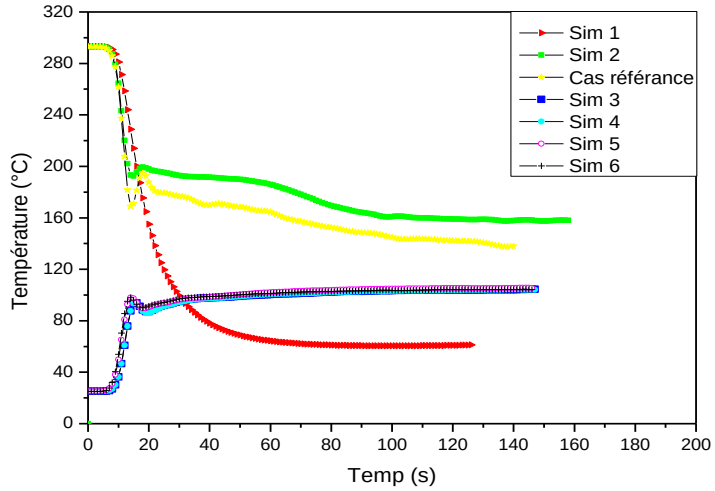


Figure IV.32 : Profil de concentration de Co2 dans le tunnel.

Comme illustration, les iso-contours de CO2 calculés sont présentées sur la **figure VI.32** La production de CO2 dans les flammes de diffusion turbulentes soumises à un flux de ventilation est calculée dans la région riche en carburant, c.-à-d., aux endroits à hautes températures. Le confinement du tunnel représente un risque supplémentaire dans la situation de secours ; la fumée est susceptible de disperser rapidement dans le tunnel.

IV.15. Comparison :

IV.15.1. Température :

Point 1	
Point 2	

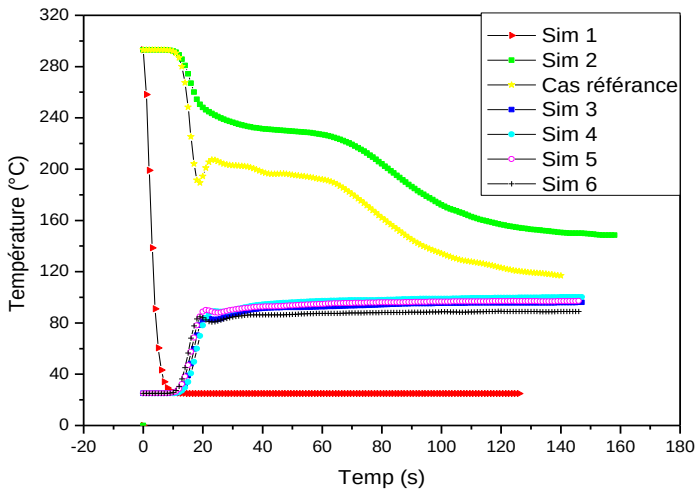
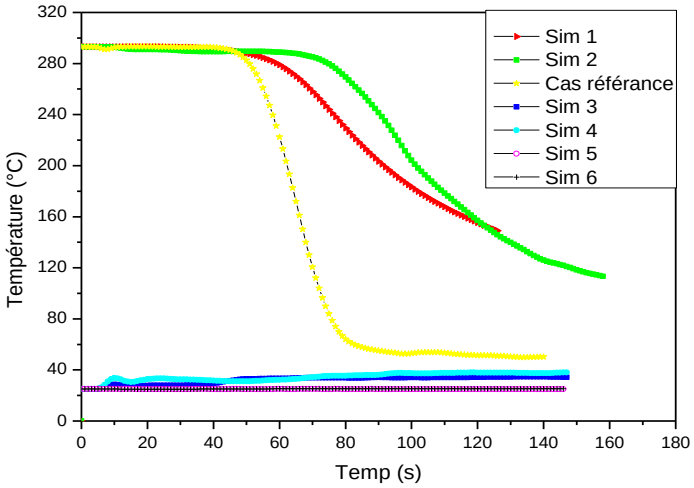
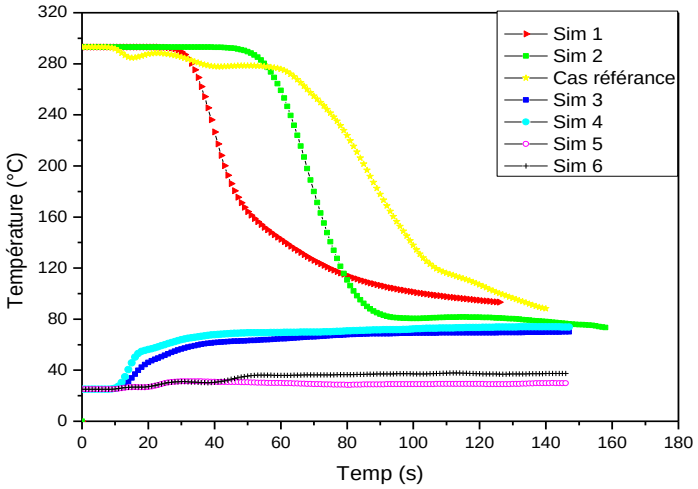
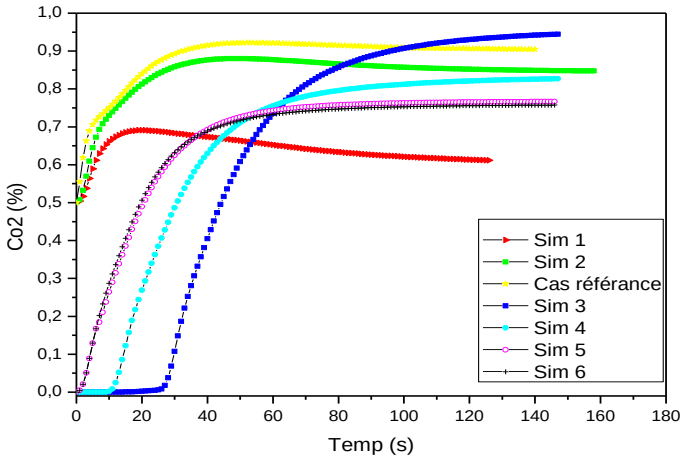
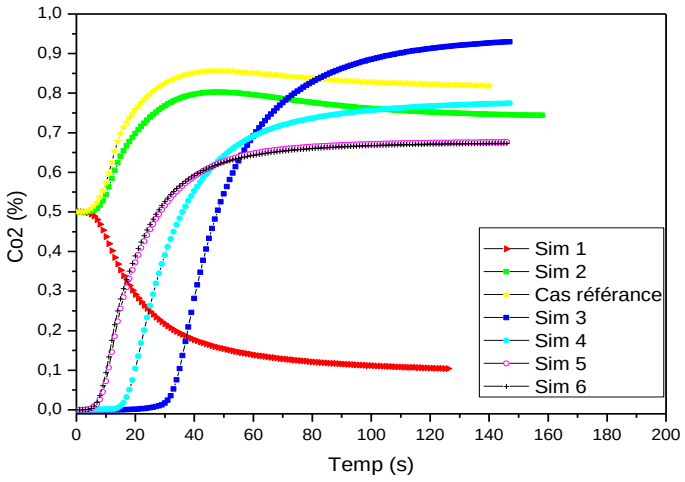
Point 3	
Point 4	
Point 5	

Tableau IV.9 : Comparaison de température dans le tunnel à chaque simulation dans chaque point

IV.15.2. Concentration de Co2 :

Point 1	
Point 2	

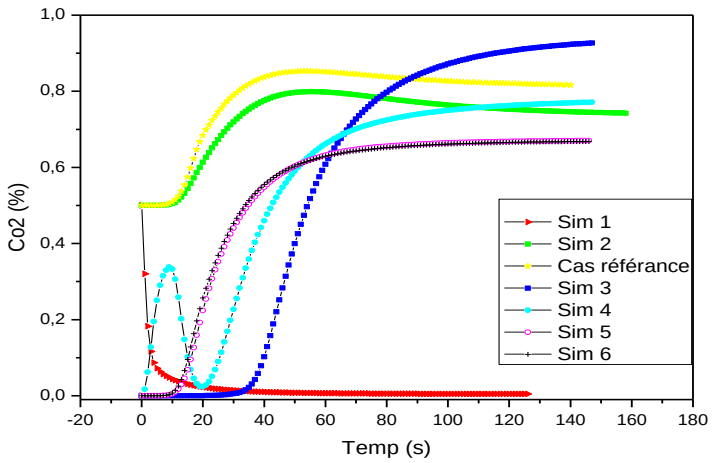
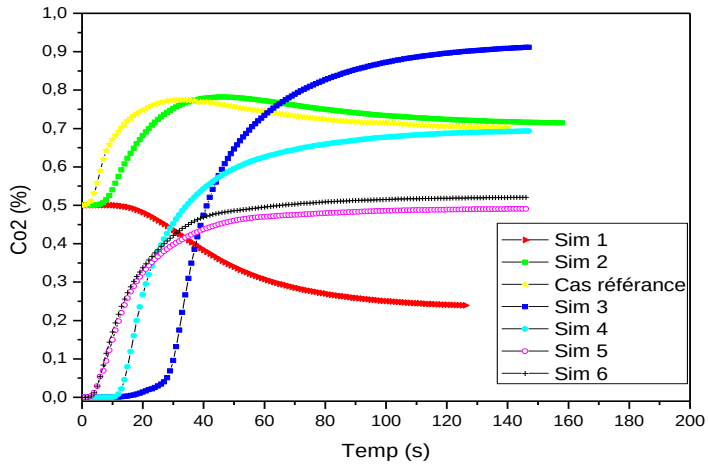
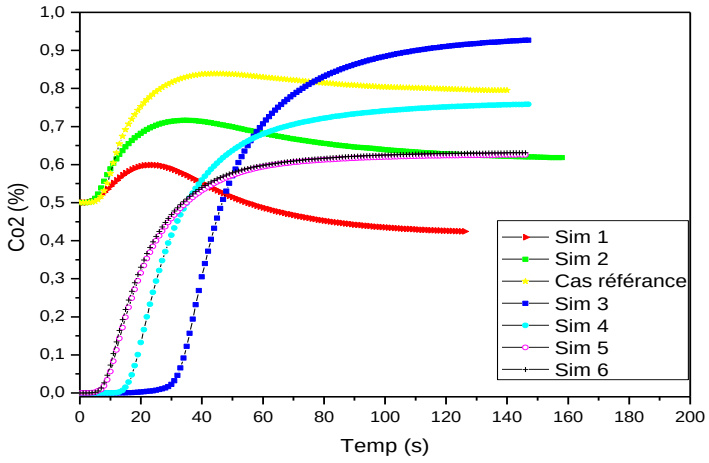
Point 3	
Point 4	
Point 5	

Tableau IV.10 : Comparaison de concentration de Co2 dans le tunnel à chaque simulation dans chaque point.

D’après cette comparaison que nous avons présentée, on devient clair qu’il faut faire attention aux axes plutôt qu’au positionnement des ventilateurs, car plus les axes sont multipliés plus la dispersion des gaz est rapide et était la température est basse par rapport à les autre cas. De plus, dans le cas de plusieurs axes, il n’y a pas de différence entre l’installation de ventilateurs au début au à la fin des tunnels.

Par rapport de ce résultat, nous pouvons conclure que la position optimale des stations dans les tunnels est en augmentant le nombre des axes le long du tunnel avec l’installation de ventilateurs au début ou à la fin des tunnels. C’est la meilleure condition pour que les tunnels soient afin d’assurer la sécurité des passagers et des voyageurs et d’assurer les meilleures voies d’évacuation en cas d’incendie à l’intérieur des tunnels.

IV.16. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé les phénomènes physiques qui régissent les écoulements qui se produisent dans des zones confinées, telles que les tunnels et les gares urbaines sous l'influence de la ventilation mécanique. Nous avons réalisé cette étude afin d'assurer la protection et la sécurité des passagers dans ces zones, en cas de tout incendie ou fuite de tout type de gaz ou de polluants. Nous concluons que plus il y a de ventilateurs placés à l'entrée du tunnel, et que le tunnel contient des axes, plus les gaz se dissipent rapidement.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Parmi les dangers potentiels à considérer dans les tunnels routiers, les incendies de véhicules sont particulièrement préoccupants car ils ne sont pas rares, et leurs conséquences pourraient être beaucoup plus importantes sous terre qu'à l'extérieur si des mesures appropriées ne sont pas prises. C'est pourquoi nous avons étudié la question de la sécurité incendie dans les tunnels routiers. Notre étude était basée sur la modélisation numérique CFD à l'aide d'ANSYS APDL.

Notre travail dans ce domaine est lié à la détermination de la quantité de gaz toxiques et de polluants dans le tunnel lors d'un incendie, avant et après l'ajout de ventilateurs, ainsi qu'à la détermination de leur emplacement optimal.

En effet, nous avons mis en évidence différents régimes d'écoulement dans l'accès en fonction du débit de soutirage, ainsi que les pertes de charge du réseau (dans les tunnels) sur les flux à l'intérieur des portails. Cela permet d'étendre les inclinaisons en les soulevant jusqu'à une station de métro et la possibilité d'appliquer des voies d'évacuation.

Bibliographie:

[1] Chung CY, Chung PL and Chen KS. Modeling air pollution in a road tunnel. J Chin Inst Environ Eng 2002; 12: 227–234.

[2] Ashrafi K, Shafie-Pour M, Kalhor M, et al. Numerical simulation of air polluant distribution in urban tunnels. Environ Model Assesse 2012; 17: 555–564.

[3] Lopez Gonzalez M, Galdo Vega M, Fernandez Oro JM, et al. Numerical modeling of the piston effect in longitudinal ventilation systems for subway tunnels. Tunn Undergr Space Technol 2014; 40: 22–37.

[4] Migoya, E., Crespo, A., Garcia, J., & Hernandez, J. (2009). A simplified model of fires in road tunnels comparison with three-dimensional models and full-scale measurements. Tunneling and Underground Space Technology, 24, 37–52.

[5] Wang, F., Wang, M., He, S., Zhang, J., Deng, Y., 2010. Computational study of effects of jet fans on the ventilation of a highway curved tunnel. Tunn. Undergr. Space Technol. 25, 382–390.

[6] Wang, F., Wang, M., He, S., Deng, Y., 2011. Computational study of effects of traffic force on the ventilation in highway curved tunnels. Tunn. Undergr. Space Technol. 26, 481–489.

[7] Hu, L.H., Tang, W., Chen, L.F., Yi, F., 2013. A non-dimensional global correlation of maximum gas temperature beneath ceiling with different blockage-fire distance in a longitudinal ventilated tunnel. Appl. Therm. Eng. 56, 77–82.

[8] Bari, S., Naser, J., 2010. Simulation of airflow and pollution levels caused by severe traffic jam in a road tunnel. Tunn. Undergr. Space Technol. 25, 70–77.

[9] Costantino, A., Musto, M., Rotondo, G., Zullo, A., 2013. Performance evaluation of alternative tunnel longitudinal ventilation systems using two inclined jets. In: Proceedings of the 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013.

[10] KIM J. Y., KIM K. Y. Experimental and numerical analyses of train-induced unsteady tunnel flow in sub- way [J]. Tunnelling and Underground Space Technology,2007, 22(2): 166-172.

[11] KIM J. Y., KIM K. Y. Effects of vent shaft location on the ventilation performance in a subway tunnel [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aero- dynamics, 2009, 97(5-6): 174-179.

[12] Tang, W., Hu, L.H., Chen, L.F., 2013. Effect of blockage-fire distance on buoyancy driven back-layering length and critical velocity in a tunnel: an experimental investigation and global correlations. Appl. Therm. Eng. 60, 7–14.

[13] Eftekharian, E., Dastan, A., Abouali, O., Meigolinedjad, J., Ahmadi, G., 2014. A numerical investigation into the performance of two types of jet fans in ventilation of an urban tunnel under traffic jam condition. Tunn. Undergr. Space Technol. 44, 56–67.

Bibliographie

[14] H. INGASON, Y. Z. LI. Model scale tunnel fire tests with longitudinal ventilation. Fire Safety Journal, Vol. 45:pp. 371-384, 2010.

[15] Lea CJ. Computational Modeling of mine fires. Min Eng (London) 1994; 154 (394):17–21.

[16] Braun E. Review of fire test methods and incident data for portable electric cables in underground coal mines. National Bureau of Standards, NBSIR 81-2292, National Engineering Lab Corp, Washington, DC, USA, 1981.

[17] Burnett J. Fire safety concerns for rail rapid transit systems. Fire Safety J 1984;8(1):3–7.

[18] Keski-Rahkon en O, Holmlund C, Loikkanen P, Ludvigsen H, Mikkola E. Two full scale pilot fire experiments in a tunnel. Valtion Teknillin en Tutkimuskeskus, VTT/RR-453, Palo tekniikan Lab, Espoo, Finland, 1986.

[19] Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I., Natural sources. Breathe 2004 France ; Volume 1 No 2 109-110 .

[20] Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I., Human-made sources. Breathe 2004 France; Volume 1 No 2 110.

[21] Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I., Source of air pollution. Breathe 2004 France; Volume 1 No 2 p:110.

[22] KEBSA KHADIDJA. Utilisation du polluant du palmier dattier comme bio indicateur de la pollution atmosphérique dans la région de Ouargla/2009.univ. de Ouargla.

[23] N. M. SAID, S. HABLI, H. MHIRI, H. B. ET AL. Flow field measurement in a cross-flowing elevated jet. J. Fluid Eng., Vol. 129 and Num. 5 :pp. 551–562, 2006.

[24] B. R. MORTON, A. IBBETSON. Jets deflected in across flow. Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 12 :112–133, 1996.

[25] J. U. SHLÜTER, T. SCHÖNFELD. LES of jets in cross-flow and its application to a gas turbine burner. Flow and Turbulence and Combustion, Vol. 65 :177–203, 2000.

[26] G. LALIZEL, Q. SULTAN, M. FENOT, E. DORIGNAC. Experimental convective heat transfer characterization of pulsating jet in cross-flow : influence of Strouhal number excitation on film cooling effectiveness. Journal of Physics : Conference Series,Vol.395and Num. 012043 :6th European Thermal Sciences Conference, 2012.

[27] T. CAMBONIE,N. GAUTIER,J. L. AIDER. Experimental study of counter-rotating vortex pair trajectories induced by a round jet in cross-flow at law velocity ratios. Experiments in fluids, Vol. 56 :pp. 41275, 2013.

[28] H. KOLLA, R. W. GROUT, A. G. ET J. H. CHEN. Mechanisms of flame stabilization and blowout in a reacting turbulent hydrogen jet in cross-flow. Combustion and Flame, Vol. 159 :2755–2766, 2012.

Bibliographie

[29] S. KAWAI,S. K. LELE. Mechanisms of jet mixing in a supersonic cross-flow : a study using large-eddy simulation. Center of turbulent Research, Annual Research Briefs, 2007.

[30] J. D. HOLDEMAN. Mixing of multiple jets with a confne subsonic cross-flow. Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 19 :pp. 31–70, 1993.

[31] N. CLERX, C. W. M. V. DER GELD, J. G. M. KUERTEN. Turbulent stresses in a direct contact condensation jet in cross-flow in a duct with implications for particle break-up. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 66 :684–694, 2013.

[32] RUNDSTRÖM, MOSHFEGH. Large-eddy simulation of an impinging jet in a cross-flow on a heated wall-mounted cube. International Journal of heat and mass transfer, Vol. 52:pp. 921–931, 2009.

[33] J. ANDREOPOULOS,W. RODI. Experimental investigations of jets in a cross-flow. Journal of Fluide Mechanics, Vol. 138 :pp. 93–127, 1984.

[34] L. E. BRIZZI. Contribution à l'étude de l'instabilité générée par un jet cylindrique débouchant perpendiculairement à un écoulement transversal. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, Décembre 1994.

[35] R. J. MARGASON. Fifty years of the jet in cross flow research. AGARD Conference Proceedings, Vol. 534, 1993.

[36] Y. KAMOTANI,I. GREBER. Experiments on a turbulent jet in a cross-flow. NASA Contractor Report, NASA CR-72893, 1971.

[37] M. A. PATRICK. Experimental investigation of the mixing and penetration of around turbulent jet injected perpendicularly into a transverse stream. Trans. Institute of Chemical Engineers, Vol. 45, 1967.

[38] R. FERAN, R. P. WESTON. Vorticity associated with a jet in a cross-flow. AIAA Journal, Vol. 12 :1666–1671, 1974.

[39] B. D. PRATTE, W. D. BAINES. Profiles of the round turbulent jet in a cross-flow. Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the ASCE, Vol. 92:pp. 53–64, 1967.

[40] E. F. HASSELBRINK, M. G. MUNGAL. An analysis of the time-averaged properties of the far field of the transverse jet. AIAA34thAerospaceSciencesMeetingandExhibit. Vol. 96-0201, 1996.

[41] F. P. RICOU, D. B. SPALDING. Measurements of entrainment by axisymmetrical turbulent jets. J. Fluid Mech., Vol. 11:pp. 21–32, 1961.

[42] B. A. HAVEN, M. KUROSAKA. Kidney and anti-kidney vortices in cross-flow jets. J.Fluid Mech., Vol. 352:pp. 27–64, 1997.

[43] T. H. NEW, T. T. LIM, S. C. LUO. Effects of jet velocity profiles on a round jet in cross- flow. Experiments in Fluids, Vol. 40:pp. 859–875, 2006.

Bibliographie

[44] S. MUPPIDI. Study of trajectories of jets in cross-flow using direct numerical simulations. J. Fluid Mechanics, Vol. 50:pp. 88–100, 2005.

[45] S. MUPPIDI, K. MAHESH. Direct numerical simulation of round turbulent jets in cross- flow. J. Fluid Mech., Vol. 574:pp. 59–84, 2007.

[46] L. K. SU, M. G. MUNGAL. Simultaneous measurements of scalar and velocity field evolution in turbulent cross-flowing jets. J. Fluid Mech., Vol. 513:pp. 1–45, 2004.

[47] Y. KAMOTANI, I. GREBER. Experiments on confined turbulent jets in a cross flow. NASA Contractor Report, NASA CR-2392, 1974.

[48] S. ROUX. Contribution expérimentale à l'aérothermique d'un jet en impact forcé acoustiquement. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, août 2011.

[49] T. F. FRIC, A. ROSHKO. Vertical structure in the wake of a transverse jet. J.Fluid Mech., Vol. 279 :pp. 1–47, 1994.

[50] B.GIACHETTI. Etude expérimentale et numérique du développement d'un écoulement chaud vertical en milieu semi-confiné sous l'influence d'une ventilation mécanique –Application à une station de métropolitain. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieur de mécanique et aérotechnique, 2015.