REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de master en Génie Mécanique

Ayant pour Thème :

Analyse Numérique de la dispersion des gaz issus d'un incendie dans un tunnel tertiaire

OPTION :

Energétique

Réalisé par:

1- BOUMAZA ABD EL MALEK

Enseignant responsables :

-Dr .ZIRARI MOUNIR
-KISSOUM NESRINE

Année universitaire

2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d’abord notre dieu tout puissant, de nous avoir aidé et donner la force et la connaissance pour accomplir ce travail.

Nous remercions du fond de cœurs nos chers parents de tout ce qu’ils ont

Faisaient pour nous.

Nous tenons à exprimer nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à notre encadreur **Dr. ZIRARI Mounir** pour son suivi, ces précieux conseils et en couragement et pour l'orientation qu'il nous adonné à notre travail.

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

Nous voudrions exprimer notre gratitude à tout l e personnel de l'université

Dr. YAHIA FARES de Médéa, en particulier au corps administratif et les enseignants du département de génie mécanique

Enfin nous tenons à adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont offert

DÉDICACE

Je dédie ce travail à :

A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la

Responsabilité….merci MERE.

A celui qui a été toujours la source d'inscription et de courage ….merci PERE.

A mes frère Samir et Karim et toutes mes sœurs

A mes cousins et cousines

Et à toute ma famille.

A monsieur l'encadreur ZIRARI MOUNIR pour son aide et ses orientation dans mon domaine

A toutes mes amis de près ou de loin.

ABD EL MALEK

ملخص :

نحاول في هذا البحث معالجة انبعاث غاز المركبات أو حوادث المرور داخل النفق، والتي تمثل مصدر قلق بيئي خطير، خاصة في الأماكن الضيقة مثل الأنفاق ، والتي يمكن أن يكون لها عواقب سلبية على صحة الإنسان. الهدف هو إيجاد طرق كاملة لاستخراج الدخان لضمان التهوية المثلى للنفق .

لذلك أجرينا دراسة رقمية لتأثير واتجاه الأنفاق وقدمنا أفضل النتائج ...

Résume :

Dans cette recherche , nous essayons d'aborder les émission de gaz des véhicules ou des accidents de la circulation à l'intérieur d'un tunnel , qui représentent une source de grave préoccupation environnementale , en particulier dans les espaces confinés tels que les tunnels , qui peuvent avoir des conséquences négatives pour la santé humaine . L'objectif est de recherche des méthodes d'extraction complète des fumées pour assurer une ventilation optimale du tunnel.

Nous avons donc mené une étude numérique de l'effet et de la direction des tunnels et nous avons donné les meilleurs résultats …

Abstract :

In this research, we try to address vehicle gas emissions or traffic accidents inside a tunnel, which represent a source of serious environmental concern, especially in confined spaces such as tunnels, which can have negative consequences for human health. The objective is to find complete smoke extraction methods to ensure optimal ventilation of the tunnel.

so we conducted a digital study of the effect and direction of the tunnels and we gave the best results ...

SOMMAIRE

Remerciements.
Dédicace.
Résumé
Sommaire.
Liste des figures.
Liste des tableau.
Nomenclature.
Introduction Générale…….…….. 1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET POSITIONNEMENT DU PROBLEME
I. Etat de l'art……. 5
I.1Problématique d'incendie en station…… 7
I.1.1 Le foyer……. 7
I.1.2 Le confinement…….…… 9
I.1.3 La ventilation……... 11
I.1.4 L'effet thermosiphon……... 11
CHAPITRE II : MODELES PHYSIQUES ET MATHIMATIQUES
II. Introduction……... 15
II.1 : Modélisation de L'écoulement des Fluides……. 15
II.1.1 : Equation de Navier-Stokes……. 15
II.1.2.Equation de continuité…….. 15
II.1.3 : Equation de quantité de mouvement…… 16
II.1.4.Equation de conservation d'énergie…… 16
II.2Modélisation thermique……..…… 17
II.2.1. bilan d'énergie…….. 17
II.3.les différent modes de transfert de chaleur…… 18
II.3.1. transfert de chaleur par conduction…….. 18
II.3.2 : transfert de chaleur par convection…….. 19
II.3.3 : transfert de chaleur par rayonnement…… 20
CHAPITRE III : METHODES DE DISCRETISATION ET LOGICIELLE ANSYS
III. Introduction……. 22
III.1 : Méthodes de discrétisation……...…….. 22
III.1.1 : Méthode des différences finies……..…….. 22
III.1.2 : Méthode des volumes finis…….. 23
III.1.3.Méthode des éléments finis…… 23
III.1.4 : Présentation générale de la méthode des éléments finis……... 24
Le calcul par éléments finis……. 25

SOMMAIRE

1 - Analyse du problème……...…… 26

2 - Vérification des données du problème……... 26

3 - Exécution du calcul…….. 26

4 - Exploitation des résultats…… 27

III.1.5.Les principales étapes d'un modèle éléments finis…… 27

III.1.6.Mise en œuvre de la méthode des éléments finis…… 28

III.1.6.1.Formulation variation elle forte…… 28

III.1.6.2.Formulation variation elle faible……... 28

III.1.6.3 : Forme générale des équations du système [27]…… 29

III.1.7 : Discrétisation……... 30

III.1.7.1 : Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini…….. 30

III.1.7.2 : Forme discrétisée : éléments finis…….. 31

III.1.7.3 : Représentation globale du champ de températures…….. 32

III.1.7.4/Discrétisation de la forme intégrale faible…… 32

III.2 : ANSYS……..… 33

III.2.1 : Présentation et description du logiciel ANSYS……. 33

III.2.2.Maillage……...…… 34

III.2.3 : Analyse des phénomènes thermiques……. 34

III.2.4 : Comment ANSYS traite la modélisation thermique……. 35

III.2.4.1 : Convection……. 35

III.2.4.2 : Rayonnement……. 36

II.2.4.3 : Effets spéciaux……. 36

III.2.5 : Types d'analyse thermique…… 36

III.2.5.1 : ANSYS supporte deux types d'analyses thermiques…….. 36

III.3 : Conclusion…… 37

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1 .Introduction……... 39

IV.2 : Identification…… 39

Expérience 01 : la polluions a l'entre……... 41

Expérience 02 : la polluions en centre…….. 44

Expérience 03 : la polluions a la sortie……. 47

IV.03. Discussion graphiquement……. 51

IV.04 :L'effet de échanger le diamètre de cheminé…… 55

IV.5.Comparaison les résultat……... 59

Conclusion……... 60

CONCLUSION GENERALE……... 61

SOMMAIRE

Référence bibliographique…… 63

LES FIGURE

Liste des figures :

Figure I.1:Champs de vitesse verticale dans le plan médian pour les 3Modes de Fonctionnement définis par NGONDIEP [17]……	**10**
Figure I.2:Déplacement des fumées en fonction du temps dans le volume de simulation numérique pour des section d'accès de 4x5 m2 et 6x5 m2 d'après CHEN et al. [22]**.....**	**13**
Figure II.1 : bilan énergétique**…..**	**17**
Figure II.2 : Schéma du transfert de chaleur par conduction**……...**	**19**
Figure II.3 : Schéma du transfert de chaleur par convection**……...**	**19**
Figure III.1 : bilan thermique**……...**	**30**
Figure III.2 : domaine plan discrétisé en 12 éléments reliés entre eux par 15 nœuds**……..**	**31**
Figure III.3 : Maillages structuré et non structuré**……**	**34**
Figure IV.1 :représentation de la géométrie du tunnel**……**	**39**
Figure IV.2 : représentation le maillage du tunnel**……...**	**40**
Figure IV.3 :la comparaison graphique de pourcentage de so2 dans le tunnel**……**	**40**
Figure IV.4 : représentation de maillage dans l'expérience 01**……**	**41**
Figure IV.5 : représentation le maillage de l'expérience 02**……**	**44**
Figure IV.6 : représentation le maillage de l'expérience 3**……..**	**47**
Figure IV.7 : Représentation les pointes**……..**	**50**
Figure IV.8 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 01 pour les trois expériences**……..**	**51**
Figure IV.9 : profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 02 pour les trois expériences **……**	**52**
Figure IV.10 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 03 pour les trois expériences**……...**	**52**
Figure IV.11 : profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 04 pour les trois expériences**……...**	**53**
Figure IV.12 : profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 05 pour les trois expériences**……...**	**54**
Figure IV.13 : représentation de maillage de cette cas**……**	**55**

LES TABLEAUX

Liste des tableau:

Tableau III.1 :Expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables……	**30**
Tableau IV.1:propriété de l'air et so2……	**39**
Tableau IV.2:représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps……	**42**
Tableau IV.3:représentation la dispersion de so2et la vitesse dans le temps……	**43**
Tableau IV.4:représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps……	**44**
Tableau IV.5:représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps……	**46**
Tableau IV.6:représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps……	**48**
Tableau IV.7:représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps……	**49**
Tableau IV.8:représentation de la dispersion de la température et pression dans le temps……	**55**
Tableau IV.9:représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps……	**57**
Tableau IV.10:représentation la température ou même temps en l'expérience 02 et l'effet de augmentation de diamètre de cheminée……	**59**

Introduction générale

INTRODUCTION

Les tunnels routiers, souvent conçus pour franchir un obstacle, offrent aussi l'opportunité de protéger les zones d'habitat des nuisances dues au trafic routier ou encore d'éviter des zones naturelles sensibles. Le trafic routier ainsi canalisé reste une source de pollution atmosphérique que l'ouvrage doit intégrerdans son fonctionnement. La pollution de l'air doit être géréeà la fois à l'intérieur de l'ouvrage pour le confort et la sécurité des usagers, et à l'extérieur au niveau des points de rejet pourlimiter l'impact sur l'environnement.

La réglementation cadreces deux aspects en précisant des niveaux de pollution àrespecter à l'intérieur des ouvrages, niveaux distincts de ceuxdéfinis pour l'environnement extérieur.

Pour répondre à cette double problématique, il est le plus souvent fait appel aux techniques de ventilation. La ventilation estpar ailleurs utilisée dans les processus de désenfumage en casd'incendie. Il s'agit donc souvent d'optimiser un système qui enmode courant assure une ventilation dite sanitaire et, en casd'incendie, l'évacuation des fumées.

Le rôle de la ventilation sanitaire est globalement de favoriserla dilution des polluants à l'intérieur du tunnel par apport d'airfrais, ce qui a aussi pour effet de diminuer la concentration enpolluants aux têtes de l'ouvrage. En complément, des systèmesmécaniques d'extraction d'air peuvent servir à évacuerl'air vicié de l'ouvrage en des points bien spécifiques, par uneou plusieurs cheminées de ventilation, afin que tous les rejets ne soient pas concentrés aux têtes. Ces différentes dispositionsde ventilation permettent de respecter la réglementation relative à la qualité de l'air à l'intérieur des ouvrages. Dansl'environnement extérieur, elles permettent de réduire significativementl'impact de la pollution routière dans des zones, enmilieu urbain notamment, qui peuvent être déjà affectées pardifférentes sources de pollution.

Lesétudesdeventilationetdesécuritédestunnelsnécessitent des simulations numériquespermettant d'estimer les mouvements d'airetéventuellementdefuméesdansdiverses cirons- tances. Ces simulations font appel à des logiciels ici désignés comme « outils de modélisation aéraulique».

En matière de sécurité incendie, les résultats fournis par ces outils constituent un élément déterminant d'appréciation du niveau de sécurité d'un tunnel et peuvent parfois conduire à modifier profondément un projet. Dans d'autres aspects de l'exploitation, les résultats de calcul aéraulique peuvent aussi conditionner des investissements importants, par exemple en ce qui concerne la limitation des impacts des tunnels routiers sur leur environnement immédiat.

INTRODUCTION

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

Chapitre I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET POSITIONNEMENT DU PROBLÈME

Etat de l'art :

Jincheng Wang et al .développe un modèle analytique pour quantifier la longueur de la couche arrière des fumées d'incendie dans un tunnel avec une combinaison de ventilation longitudinale et de ventilation par extraction ponctuelle dans le toit. La distance entre le conduit de fumée et la source d'incendie est prise en compte ainsi que le débit massique pendant tout le processus de flux de fumée selon le principe de conservation de la masse. [1]

Les grandeurs d'entrée du modèle sont le taux de dégagement de chaleur de la source d'incendie, la vitesse longitudinale, la vitesse d'évacuation, la largeur et la hauteur du tunnel, la distance du conduit de fumée à la source d'incendie et la surface du conduit de fumée. La qualité des prédictions du modèle est illustrée pour une gamme de conditions expérimentales. Après cela, des prédictions de modèle étendues sur la longueur de la couche arrière sont présentées pour montrer ses tendances en faisant varier la vitesse de la ventilation longitudinale, la vitesse d'évacuation et la position de l'évent de fumée dans le toit. Des discussions sont enfin données. Il est souligné que le raccourcissement de la distance entre l'évent de fumée et la source d'incendie permet de raccourcir la longueur de la couche arrière, et ce phénomène est plus prononcé pour une vitesse d'échappement plus élevée. P. Salizzoni et al [2]

ils ont mis la dépendance longitudinale de l'écoulement amont des couches de fond à cette fin, ils ont mené des expériences dans deux modèles différents à petite échelle en utilisant Hélium et air chaud comme liquides flottants. Nous avons développé quasi-expérimental Un modèle pour prédire l'étendue du flux de couches de fond. Le premier est le numéro RI du tunnel Richardson , Exprimer le rapport entre les effets de flottabilité induits par la source et les effets d'inertie de aération des tunnels. La seconde est sa valeur critique Ric, qui est obtenue en imposant la vitesse de ventilation dite critique, le troisième paramètre, Il est appelé KT, caractérise la perte de chaleur sur les parois du tunnel. fluctuations des conditions Imposé à la source, c'est-à-dire le flux de quantité de mouvement associé à l'injection du fluide surnageant, a peu d'effet sur l'état critique et donc sur l'étendue d'écoulement des couches de fond.NaMenget al [3]

Des expériences sont menées dans un tunnel typique pour vérifier la longueur de la couche arrière du flux de fumée convectif dans un tunnel longitudinal bien ventilé avec des véhicules obstrués à la source de la source d'incendie il a été constaté que la longueur de la couche arrière est inférieure à celle du tunnel vide. Longueur de la doublure il diminue ou

augmente avec l'augmentation de la distance de blocage et du feu à un taux de blocage de 0,26 et un dégagement de chaleur donné cependant, à un taux de blocage et un taux de dégagement de chaleur de 0,51, la longueur de la couche arrière augmente avec augmentez la distance de blocage et tirez à une grande vitesse de ventilation. À un certain taux de dégagement de chaleur et vitesse d'aération, la longueur de la couche arrière est plus grande pour les cas avec un rapport de blocage plus petit, et cet écart est progressif, Il diminue avec l'augmentation de la distance de blocage et le feu à une plus grande vitesse d'aération, et enfin une couche arrière plus longue, La longueur peut être obtenue pour les cas avec une incidence plus élevée d'obstruction. Xiaoning Zhang et al [4]

Plusieurs essais d'incendie en tunnel à grande et à petite échelle ont été menés, ainsi que des simulations numériques ont été effectuées pour déterminer les événements d'incendie critiques et les paramètres clés pour guider conception de tunnel pour la sécurité incendie. À la lumière des récents développements en matière de méga données et d'intelligence artificielle, il vise à créer une base de données contenant toutes les données expérimentales actuelles pour les incendies de tunnel, basée sur une grande échelle. Résumer la base de données des tunnels incendie, ventilation et fumée.

Basé sur dans cette base de données, l'apprentissage automatique est appliqué pour prédire la vitesse de ventilation critique d'un incendie de tunnel sous forme de fichier preuve. La base de données et la méthodologie établie contribuent à améliorer l'application de l'IA et lutte contre l'incendie intelligente dans la sécurité incendie des tunnels. Ying Zhen Li et al [5]

Des tests expérimentaux et des analyses théoriques ont été menés pour vérifier ensemble la vitesse critique avec la longueur de la couche arrière dans les incendies de tunnel. Les corrélations suggérées pour les vitesses critiques sont en bon accord avec les données expérimentales. La longueur du revêtement était liée au rapport entre la vitesse de ventilation et la vitesse critique. Les données expérimentales montrent que la relation entre le rapport de la vitesse de ventilation à la vitesse critique et la longueur de la couche de fond sans dimension suit relation exponentielle. Impact de l'accident L'obstruction du véhicule a également été analysée sur la vitesse critique et la longueur de la couche arrière. ont montré que la diminution du taux de vitesse critique due à l'obstruction est légèrement supérieure à section transversale d'un véhicule typique pour le forage de la section transversale et de la longueur de la couche arrière avec un accident de voiture à l'intérieur du tunnel, il devient plus petit .Shengzhong Zhao et al [6]

Dans cet article, une étude numérique a été menée pour analyser l'effet du mouvement de la fumée dans les incendies de tunnel, la longueur des couches de fond, la vitesse critique de ventilation et la distribution de la température ont été comparées et analysées. Deux nouveaux modèles pour prédire la longueur de la couche de fond sans dimension et la vitesse critique de ventilation dans les incendies de tunnel ont été proposés et comparés aux données disponibles dans études antérieures et modèles de prédiction proposés par d'autres chercheurs. Pour la répartition de la température, la température maximale du gaz sous le toit est indiquée dans la ligne médiane du toit au-dessus Le feu incendie. En plus des causes possibles de divers mouvements de fumée. Ying Zhen Li et HaukurIngason [7]

Cet article donne un aperçu de la recherche sur la sécurité incendie dans les tunnels souterrains routiers et ferroviaires du point de vue conception de sécurité incendie. L'accent est mis sur les incendies de conception, la protection structurelle, le contrôle de la fumée et l'utilisation de systèmes d'extinction d'incendie à base d'eau. En outre, certaines caractéristiques majeures du feu, notamment la longueur de la flamme, la propagation du feu et la chaleur les flux stratifiés et les flux de fumée sont discutés. BLANCHARD et al. [8]

Mettent en évidence des échanges radiatifs entre le foyer et les parois en fonction de la vitesse critique, grâce à une piscine d'heptane représentant, suivant la similitude de Froude.

I.1Problématique d'incendie en station :

La problématique d'un incendie en station fait depuis une dizaine d'année l'objet d'une attention toute particulière et ce par l'ensemble des partenaires intervenants (pouvoirs publics, industriels, exploitants, universitaires) et schématiquement les études sur le développement d'un incendie en station reposent sur les points suivants :

- le foyer, c'est-à-dire la source de l'incendie,
- le confinement, c'est-à-dire l'environnement physique et les conditions aux limites géométriques dans lesquels se développe l'incendie,
- la ventilation, qui peut être soit naturelle ou le plus souvent forcée 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, BLANCHARD et al. [8]

mettent en évidence des échanges radiatifs entre le foyer et les parois en fonction de la vitesse critique, grâce à une piscine d'heptane représentant, suivant la similitude de Froude, une puissance dégagée de 256 kW. INGASON & LI [9]

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 part la teneur en humidité du bois qui peut influer sur la combustion. DEBERTEIX [10]

met en fonctionnement un brûleur au butane d'une puissance de 1,4 kW dans un tunnel permettant d'observer dynamiquement et thermiquement la présence d'une couche de fumée en amont du foyer, dite « couche de retour » pour en extraire une vitesse critique nécessaire à contrer cet écoulement à la paroi. La représentation d'un foyer a également été simulée en simplifiant le problème et en s'affranchissant des mécanismes de combustion. Par exemple, VAUQUELIN [11]

.a traité expérimentalement la problématique des incendies par le biais des différences de masse volumique entre le milieu chaud et léger (panaches issus du feu simulé par un jet d'hélium) et le milieu ambiant froid et lourd (air). RUSCH et al. [12]

ont eu recours à un jet d'air chaud afin de s'affranchir du « feu » et de produire des essais en milieu « propre ».

Dans ce cas, le foyer est représenté par une vitesse d'injection caractéristique et une température de fluide chaud. Si l'aspect « combustion » n'existe pas au sens propre, le jet chaud représente le développement du feu à travers deux paramètres : la vitesse initiale et la différence de densité entre l'air chaud et l'air ambiant. Enfin, les incendies peuvent être simulés aussi par un panache thermique, source chaude entraînant un écoulement de convection naturelle pure, comme le montre par exemple MAHMOUD et al. [13].

Dans ce cas, aucune réaction de combustion n'est considérée, mais cette méthode permet d'envisager une approche thermique permettant de caractériser la diffusion de la chaleur et d'identifier les mécanismes physiques mis en jeu lors des confrontations des écoulements chaud et froid. Soulignons également que la plupart des études d'incendie effectuées à échelle réduite basent leur approche sur la similitude de Froude. Si la

modélisation du foyer s'effectuant à partir d'une réaction de combustion (brûleur, bois ou combustible liquide) offre des conditions très proches d'un incendie, de nombreux inconvénients limitent l'analyse soit à cause de la production de suies, soit à cause des températures très élevées du feu (supérieures à 1000 ◦C).

Ces inconvénients réduisent l'utilisation des techniques de métrologie laser limitant ainsi les investigations expérimentales.

En parallèle, les systèmes sans combustion (jet chaud, panache, fluide à faible densité) ne permettent pas d'être reproductible de l'échelle 1 en température mais assurent une prospection facilitée de l'écoulement et offrent une véritable opportunité pour identifier les mécanismes physiques mis en jeu

1.1.2 Le confinement :

Un second paramètre concernant la présente étude est le confinement de l'incendie. Un foyer est dit « confiné » si sa taille est suffisamment grande par rapport à celle du local le contenant ou si sa puissance rapportée au volume d'étude est importante. Si une ouverture ou plusieurs sont présentes dans le local, on parle alors de « semi confinement ». Dans la suite de ce paragraphe, seuls les exemples semi-confinés et surtout non ventilés sont étudiés. Par une approche expérimentale, NAFFOUTI et al. [14]
utilisent une source chaude maintenue à 300 ◦C entre deux parois verticales pour montrer que le confinement du panache tend à détruire les grosses structures tourbillonnaires pour en créer de plus petites. ICHIMIYA & ABE [15]
ont recours à l'approche numérique pour mettrez avant l'évolution du flux impactant un plafond en fonction du rapport de taille hauteur/largeur de la veine lorsqu'une source chaude est maintenue dans une huile de silicone. LUCCHESI [16],
lors de ses travaux de thèse, montre le déversement d'un panache thermique depuis la pièce source vers une pièce adjacente, en mettant en évidence les épaisseurs de fumée et la longueur d'impact avec une bonne corrélation entre les cas « froid » (fluide à faible densité) et «chaud» (piscine de combustible). Enfin, l'étude expérimentale de NGONDIEP [17]
repose sur le développement d'un jet chaud dans une pièce munie d'une ouverture basse et d'une ouverture haute. Il observe que le comportement de l'écoulement interne se développe selon 3 régimes différents, fonction du nombre de Froude modifié (Fr*) : a) pour Fr*2, un blocage des entrées-sorties et une recirculation interne du jet chaud sont identifiés dans la pièce (Fig. 1.1(c)).

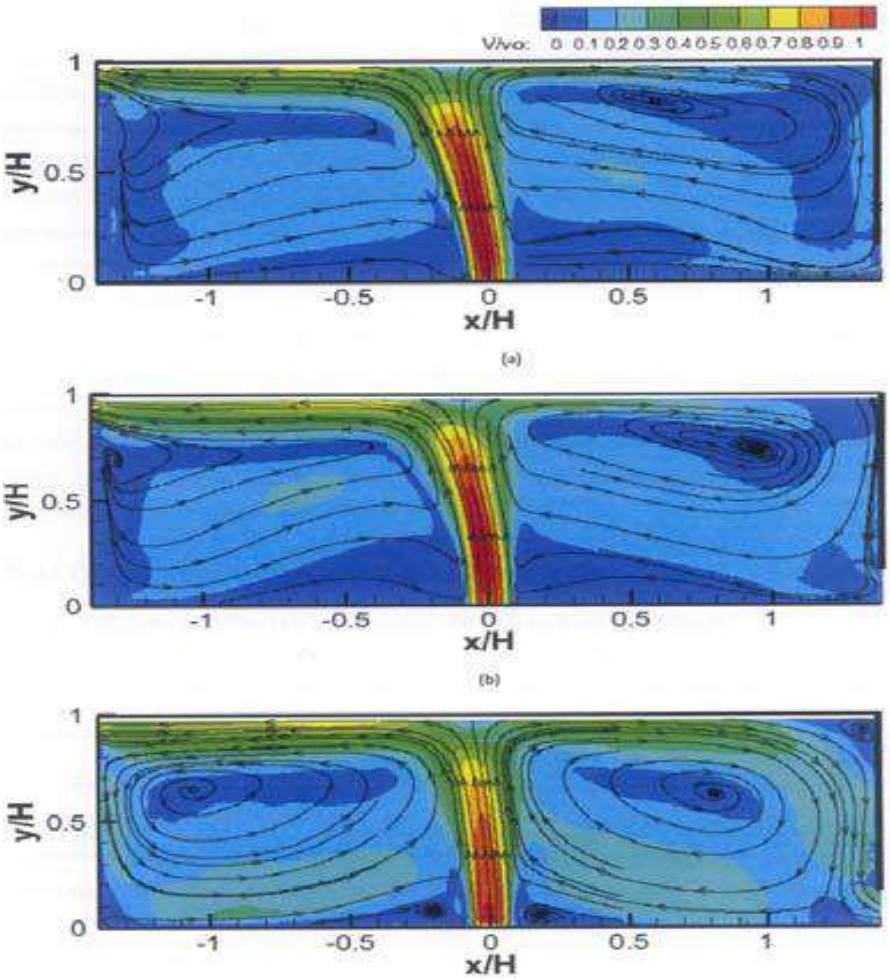


Figure I.1: Champs de vitesse verticale dans le plan médian pour les 3Modes de fonctionnement définis par NGONDIEP [17].

Dans un milieu confiné ou semi-confiné, l'absence d'écoulement secondaire (ventilationPar exemple) augmente le risque de stratification et de dommages appliqués au milieu. Ces cas sont souvent étudiés dans le cadre de la « sécurité incendie », notamment en ce qui concerne les bâtiments, afin d'étudier la propagation des fumées dans les pièces attenantes à la pièce source, soit à travers les ouvertures, soit par les conduits de ventilation ou les conduits d'extraction... L'ensemble des études effectuées sur cette problématique souligne la très grande complexité du confinement piloté par la présence de stratification. Cette dernière est par ailleurs très sensible à tout mouvement d'air induit par les mélanges entre air chaud et air froid.

1.1.3 La ventilation :

Les travaux portant sur un milieu semi-confiné et ventilé de manière forcée concernent Majoritairement les cas typiques des tunnels. YUCEL et al. [18] utilisent une piscine d'alcool de 2,3 kW de puissance. Le feu se développe dans un local central possédant un tunnel de chaque côté. L'étude porte sur l'évolution de la température dans le local en fonction de la vitesse de l'écoulement lors d'essais de courte durée (de l'ordre de 4 minutes environ). Les résultats expérimentaux ont alors été comparés à des modèles théoriques.

D'autre part, RECKER et al. [19] se servent d'un jet d'air à température ambiante dans un écoulement traversier de même température afin de rechercher la ligne centrale du jet et d'étudier le développement des tourbillons contrarotatifs 3D afin de valider un code de calcul, servant à l'optimisation de « Micro mix » (combustion par hydrogène). BLAISE [20] a mis au point une approche expérimentale basée sur une source chaude de forme et de gradients de température divers, soumise à un écoulement vertical. Un changement d'axe ou d'inclinaison du panache en fonction de la source et du débit d'air vertical est observé, ces travaux permettant d'identifier notamment les vitesses et les températures maximales ainsi que le point source virtuel du foyer.

Les travaux de recherche relatifs à l'étude de la ventilation s'efforcent de caractériser des vitesses critiques et des vitesses limites de ventilation afin d'éviter, d'une part, le développement des couches de retour et d'autre part, la création et le développement d'écoulements secondaires... Ces deux phénomènes sont typiquement identifiables dans le cas d'incendies en tunnel ou bien encore dans le cas d'un écoulement de jet chaud balayé par un écoulement traversier désigné par l'acronyme anglophone JICF pour « Jet In Cross Flow ». Ainsi, au regard de ces études, des paramètres de sécurité ont pu être définis pour les incendies en tunnel comme la vitesse critique, la hauteur de stratification voire encore la longueur de la couche de retour...

I.1.4 L'effet thermosiphon :

Le thermosiphon est un circuit aéraulique de transport convectif de chaleur dans Lequel s'établit un écoulement naturel sous l'effet des forces d'Archimède dues aux variations de masse volumique du fluide. Le mouvement ascendant d'une particule d'air à masse volumique plus faible que l'air l'entourant est appelé flottabilité. Ces forces génératrices de mouvement sont, en général, localisées dans une partie du circuit aéraulique Qu'il soit vertical ou incliné, son fonctionnement reste encore mal connu dans ses principes mais les applications notamment dans le bâtiment, les énergies renouvelables ou Encore les

incendies, lui confèrent un certain regain d'intérêt. Bien que normalement appliqué uniquement pour des régimes de convection naturelle pure où seule la paroi du conduit est chauffée, cette terminologie est aussi utilisée sous l'appellation « tirage thermique » ou encore effet cheminée, lorsqu'une source chaude entraîne des mouvements d'air « chaud » dans des conduits verticaux, amenant possiblement un échauffement des parois et pouvant amplifier les écoulements. Cet effet est piloté par une différence de masse volumique de l'air, entraînant alors une différentielle de pression pouvant s'écrire sous la forme :

1 1 ( ) Ste froid chaud P C P HT T □ □ □ □ Par exemple, ZINOUBI et al. [21]

ont développé une approche expérimentale basée sur une source chauffée à 300 _C entourée par un cylindre. Ils étudient alors les profils de

vitesse et de température à la sortie du cylindre en fonction de la hauteur de celui-ci et de la distance le séparant de la source chaude. Les résultats montrent une grande sensibilité aux deux paramètres précédents et sont applicables à la dissipation des polluants à la sortie des cheminées industrielles. CHOW [22],

quant à lui, utilise une piscine de combustible dans une pièce source se déversant dans un canal en verre. L'approche expérimentale utilisée permet de rechercher L'écartement optimal entre une paroi de la pièce et la paroi externe d'un immeuble (« double peau » des immeubles modernes) afin d'avoir un gain d'espace et des températures minimales sur les faces en verre. L'application concerne la sécurité incendie en bâtiment tertiaire ou en immeuble collectif. Les travaux numériques de CHEN et al. [23]

sont les plus proches de la présente étude. En effet, la source de chaleur est représentée par une source fictive de 5 MW avec dégagement de particules dans un tunnel horizontal muni de deux conduits d'évacuation verticaux placés à chaque extrémité dont la section peut varier. L'observation du déplacement des particules dans l'enceinte en fonction de la position du foyer et des sections des canaux est étudiée (Fig. I.2).

Les fumées s'évacuent naturellement toujours par l'orifice (Conduite verticale) le plus proche du foyer ce qui se traduit par une notion de distance minimale. Dans le cas d'une position centrale du foyer, les fumées s'évacuent par l'orifice (conduite verticale) le plus étroit ce qui sous entend que le fluide migre là où les pertes de charges sont minimales.

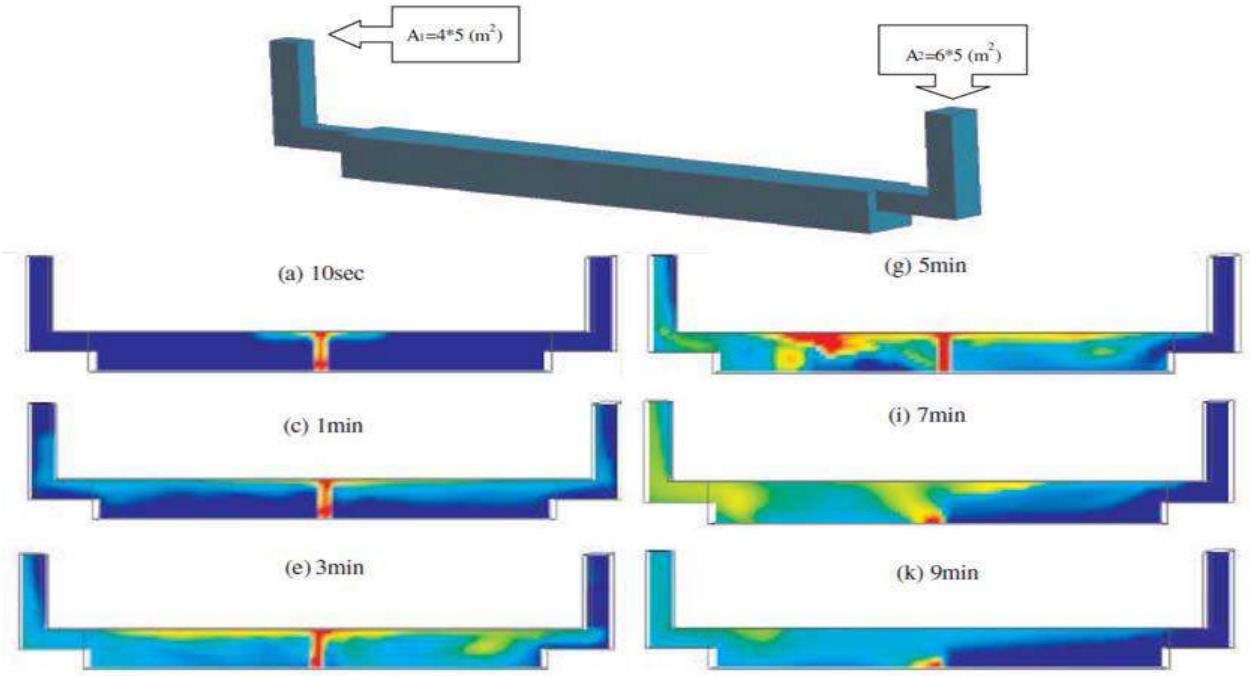


Figure I.2:Déplacement des fumées en fonction du temps dans le volume de simulation numérique pour des section d'accès de 4x5 m2 et 6x5 m2 d'après CHEN et al. [22].

L'étude des thermosiphons est souvent associée à la sécurité incendie dans les bâtiments.CHEN et al. [22]

Présentent en effet une source chaude, un milieu semi-confiné et la présence de conduits d'évacuation verticaux. Cette étude montre la sensibilité de l'évacuation des fumées à la position du foyer dans le volume semi-confiné, à la distance foyer/conduits d'évacuation, à la taille de ces évacuations ou encore à l'effet de « tirage thermique » entre les conduits : lorsque la fumée est évacuée naturellement par l'un des deux conduits, il y a alors un tirage forçant l'air frais à pénétrer dans le second conduit.

Chapitre II
Modèles physiques et mathématiques

II. Introduction :

Nous présentons dans cette partie la modélisation des écoulements d'un fluide incompressible en régime variable, ou les modèles de fermeture abordés.

Pendant quelques décennies, Brandtell, Navier Stocks et Reynolds ont réussi à découvrir les lois fondamentales de la mécanique des fluides, et il restait aux ingénieurs et au monde à exploiter ces lois et compteurs pour servir l'homme.

En général, les mécanismes fluides subissent trois équations de base. Il s'agit de l'équation de continuité, l'équation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie.
Ce chapitre vise à introduire les principales équations qui régissent le problème simultané (dynamique et thermique) ou les lois de base seront développées.

II.1 : Modélisation de L'écoulement des Fluides :

Tous les problèmes de CFD sont bases sur les lois fondamentales de mécanique des fluides qui sont :

II.1.1 : Equation de Navier-Stokes :

On considère l'écoulement de deux fluides incompressibles, newtoniens et non-miscibles.

La dynamique de chaque phase k est déterminée par les équations de Navier- Stokes :

$$\frac{\partial \rho_k V_k}{\partial t} + (\rho_k V_k V_k) = \rho_k g - \nabla \rho_k \nabla (2\mu_k s_k) \quad \textbf{(II.1)}$$

II.1.2.Equation de continuité :

Cette équation concerne le principe de conservation de la masse dans un élément.
Elle exprime l'égalité de la variation de la masse d'élément et de la déférence entre la quantité de fluide qui entre la quantité de fluide pendant le même temps.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \quad \textbf{(II.2)}$$

Ou dans une notation plus compacte

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

Ainsi, l'incompressibilité d'un fluide $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ se traduit par la relation suivante :

$$\text{div}\, u = 0 \quad \textbf{(II.4)}$$

II.1.3 : Equation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent, il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées, les équations de la quantité de mouvement (ou équation de navier-stokes) pour des fluides newtoniens incompressibles en régime laminaire sont données par les expressions suivantes :

Suivant OX :

$$(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}) = \frac{\partial P}{\partial t} + (\frac{\partial \tau xx}{\partial x} + v\frac{\partial \tau yx}{\partial y} + w\frac{\partial \tau zx}{\partial z}) + (\rho + \rho o)g_x \quad \textbf{(II.5)}$$

Suivant OY :

$$(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}) = \frac{\partial P}{\partial t} + (\frac{\partial \tau xy}{\partial x} + v\frac{\partial \tau yy}{\partial y} + w\frac{\partial \tau zy}{\partial z}) + (\rho\rho o)g_y \quad \textbf{(II.6)}$$

Suivant OZ :

$$(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}) = \frac{\partial P}{\partial t} + (\frac{\partial \tau xz}{\partial x} + v\frac{\partial \tau yz}{\partial y} + w\frac{\partial \tau zz}{\partial z}) + (\rho + \rho o)g_z \quad \textbf{(II.7)}$$

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

$$\mu = \tau_{xy} = \mu\left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right] \quad \textbf{(II.8)}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu\left[\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x}\right] \quad \textbf{(II.9)}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu\left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x}\right] \quad \textbf{(II.10)}$$

$$\tau_{xx} = \mu\left[2\frac{\partial u}{\partial x}\right]; \tau_{yy} = \mu\left[2\frac{\partial v}{\partial y}\right]; \tau_{zz} = \mu\left[2\frac{\partial w}{\partial z}\right] \quad \textbf{(II.11)}$$

II.1.4.Equation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique, ce principe met en relation les différentes formes d'énergie par :

$$\rho C_P \frac{DT}{Dt} + \rho C_P \mathrm{U}.\nabla \mathrm{T} = \mathrm{div}\,(\lambda\,\mathrm{grad}\,\mathrm{T}) + \emptyset \quad \textbf{(II.12)}$$

$$\emptyset = \tau_{xx}\frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx}\frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{zx}\frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{xz}\frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{yy}\frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy}\frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{xz}\frac{\partial w}{\partial z} + \tau_{yz}\frac{\partial w}{\partial z} + \tau_{zz}\frac{\partial w}{\partial z} \quad \textbf{(II.13)}$$

Avec :

$\rho C_P \frac{DT}{Dt}$: La variation totale d'énergie

div (λ grad T) : La variation d'énergie par conduction

$\emptyset$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux **[24]**

II.2.Modélisation thermique :

Le transfert d'énergie se produit chaque fois qu'un gradient de température existe à l'intérieur d'un système, ou lorsque deux système de températures différentes sont mis en contact, le processus par lequel le transfert de l'énergie s'effectue est désigné par le terme générale de (transmission de la chaleur) la grandeur transférée appelée chaleur, ne peut être ni mesurée ni observée directement, mais ses effets donnent lieu à des observations et des mesures. L'écoulement de la chaleur comme la production de travail phénomène qui implique la variation de l'énergie interne.

II.2.1.bilan d'énergie :

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

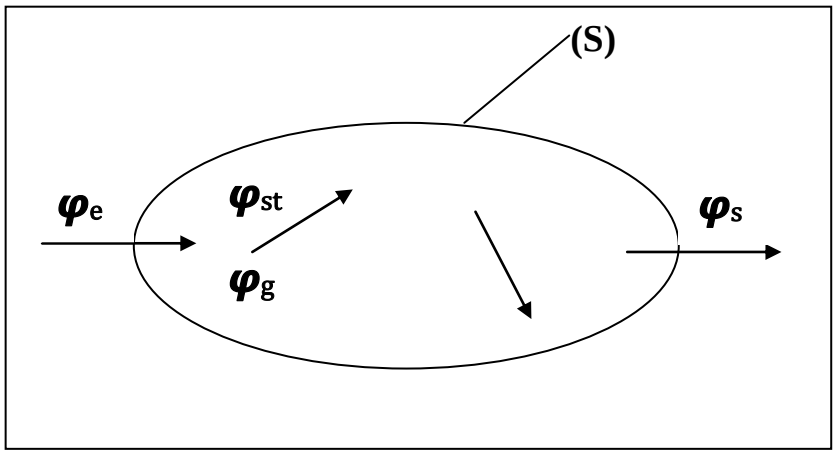


Figure II.1 : bilan énergétique

Avec :

φst : flux de chaleur stocké
φg : flux de chaleur généré
φe : flux de chaleur entrant dans le système(S)
φs : flux de chaleur sortant

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\varphi_e + \varphi_g = \varphi_s + \varphi_{st} \qquad \textbf{(II.14)}$$

II.3.les différent modes de transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Cet écoulement de chaleur est régi non seulement par une relation unique, mais plutôt par une combinaison de différentes lois physiques indépendantes. Les ouvrages traitant du transfert de chaleur introduisant généralement trois modes de transmission de chaleur :

- La conduction
- La convection
- Le rayonnement

II.3.1.transfert de chaleur par conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

Forme algébrique :

$$\varphi = -\ \lambda\ s\frac{\partial y}{\partial x} \qquad \textbf{(II.15)}$$

avec :

φ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ : Conductivité thermique du milieu(W m^{-1} °C^{-1})

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

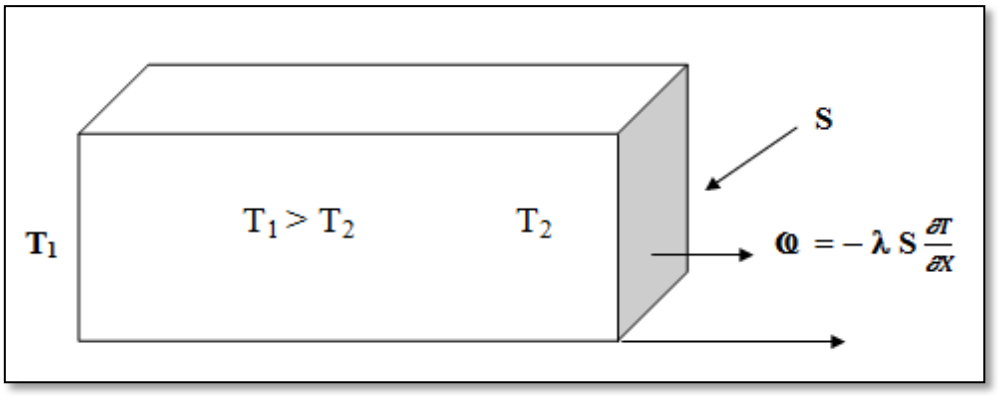


Figure II.2 : Schéma du transfert de chaleur par conduction

II.3.2 : transfert de chaleur par convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\varphi = h\, S\, (T_P - T_\infty) \qquad \textbf{(II.16)}$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h :Coefficient de transfert de chaleur par convection(W m-2 °C-1)

T_P : Température de surface du solide (°C)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

S :Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

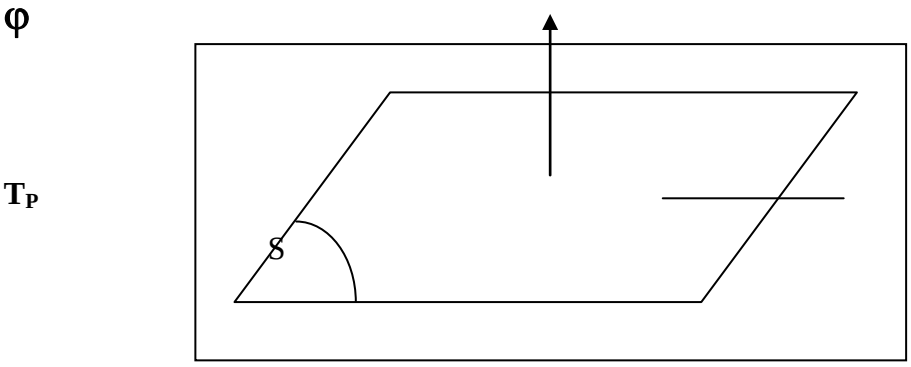


Figure II.3 : Schéma du transfert de chaleur par convection

II.3.3 : transfert de chaleur par rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \qquad \text{(II.17)}$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement **(W)**

σ : Constante de Stefan **($5{,}67.10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4})**

ε_p**:** Facteur d'émission de la surface

T_p **:** Température de la surface **(K)**

$T\infty$ **:**Température du milieu environnant la surface **(K)**

S: Aire de la surface **(m^2)**

Chapitre III
Méthodes de discrétisation et logicielle ANSYS

III. Introduction :

Pour résoudre un problème de la physique il faut distinguer le modèle physique du modèle mathématique .Des différentes méthodes numériques ont été utilisées pour la résolution analytique des équations différentielles partielles (E.D.P) qui régissent ce typed'écoulement. Parmi les méthodes on cite, la méthode des différences finies, laméthode des éléments finis et la méthode des volumes finis.

Le principe de ces méthodes est de transformer les équations différentielles en un système d'équations algébriques.

Dans ce chapitre, en se basant sur la méthode des éléments finis. Cette dernière sera appliquée à la résolution de notre problème thermique par notre simulateur ANSYS.

III.1 : Méthodes de discrétisation :

Il se compose de trois méthodes spécifiques : méthode des différences finies et la méthode des volumes finis, méthodes des éléments finis

III.1.1 : 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.

Il se concentre sur le remplacement des dérivées qui surviennent dans le problème persistant en divisant les différences ou groupes de valeurs raster de la fonction en un nombre spécifié de points ou nœuds distincts du réseau.

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.

Les avantages :

- grande simplicité d'écriture.
- faible coût de calcul.

Les inconvénients :

- Limitation de la géométrie des domaines de calculs.
- difficultés de prise en compte des conditions aux limites portant sur les dérivées.

III.1.2 : Méthode des volumes finis :

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

Le principe de cette méthode est de subdiviser le domaine de calcul en un nombre de volumes de contrôle juxtaposés. Chacun de ces derniers englobe un "nœud principal". Dans la méthode des volumes finis les lois de conservations (de la masse, de quantité de mouvement et de l'énergie) sont exprimées localement sons une forme intégrale.

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

Les avantages :

- Mise en œuvre relativement facile.
- Applicable aux géométries complexes.

Les inconvénients :

- Moins précis que les méthodes spectrales.

III.1.3/Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis fait partie des outils de mathématiques appliquées. Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation variation elle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (ou EDP) sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact. Cette méthode est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. Celles-ci peuvent par exemple

représenter analytiquement le comportement dynamique de certains systèmes physiques (mécaniques, thermodynamiques, acoustiques, etc.).

La méthode des éléments finis consiste à approcher, dans un sous-espace de dimension finie, un problème écrit sous forme variation e (comme minimisation de l'énergie, en général) dans un espace de dimension infinie. La solution approchée est une fonctiondéterminée par un nombre fini de paramètres.

Les avantages :

- Traitement possible de géométries complexes.
- Détermination plus naturelle des conditions aux limites.
- Possibilité de démonstrations mathématiques de convergence et de majoration d'erreurs.

Les inconvénients :

- Complexité de mise en œuvre
- Coût en temps de calcul et en mémoire.

Dans ce qui suit on se limite a examiné uniquement la méthode des éléments finis, nous venons de décrire succinctement l'approche globale de cette méthode. Par la suite, nous exposerons les principales étapes mathématiques de discrétisation de l'équation de chaleur par cette dernière.

III.1.4 : Présentation générale de la méthode des éléments finis :

Les codes éléments finis sont des outils couramment utilisés lors de la conception et à l'analyse des produits industriels. Les outils d'aide à la modélisation devenant de plus en plus perfectionnés, l'utilisation de la méthode des éléments finis s'est largement développée et peut sembler de moins en moins une affaire de spécialistes.

Pour discrétiser les phénomènes physiques, l'ingénieur dispose de méthodes d'approximation permettant de résoudre la plupart des problèmes pour lesquels il n'existe pas de solution exacte.

Toutes les méthodes d'approximation ont un même objectif de remplacer un problème mathématique continu (équations différentielles ou intégrales) par un problème mathématique discret (équation matricielle). La méthode des éléments finis est une méthode de résolution approchée d'équations aux dérives partielles. Elle consiste à remplacer un problème complique pour lequel a priori on ne connaît pas de solution, par un problème plus simple que l'on sait résoudre.

De très nombreux problèmes physiques s'expriment sous forme d'équations aux dérivées partielles soumises à des conditions aux limites particulières :

- mécanique des solides déformables et de structures
- mécanique des fluides
- conduction thermique
- électricité ou électromagnétisme
- chimie

Pour résoudre un problème physique par la méthode des éléments finis, l'ingénieur doit faire une série de suppositions et d'approximations afin de transformer l'objet réel en un modèle numérique. La discrétisation ainsi obtenue - définie par un maillage et par les degrés d'approximation des éléments - permet alors d'obtenir une solution approchée.

Le calcul par éléments finis :

Un programme général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Ces programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer pouvoir traiter un problème réel de façon correcte.

L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimum, suivie d'applications pratiques sur des problèmes simples.

Le calcul par éléments finis est organisé selon les étapes suivantes :

1 - Analyse du problème :

Cette analyse doit fixer les paramètres du calcul et conduire à la réalisation d'un maillage. Cette phase basée sur l'expérience personnelle acquise dépend de nombreuses considérations. La difficulté essentielle est de trouver un bon compromis entre les paramètres propres au problème et ceux relatifs à l'environnement de travail. L'analyse du problème nous conduit à préciser un certain nombre d'hypothèses, et à effectuer des choix qui conditionnent les résultats.

- Choix du type de modèle : 1D (poutre ou barre), 2D (élasticité plane, axisymétrique), 3D (coque, membrane, volume).
- Choix des familles d'éléments finis : triangles, quadrangles, tétraèdres, hexaèdres, pyramides
- Choix du type d'éléments : fonction de la précision, de la nature du problème, du temps et capacité mémoire.
- Choix du maillage : il dépend de la géométrie, des sollicitations, des conditions aux limites.
- Choix des hypothèses de comportement : il dépend du comportement du matériau, du type de calcul est-il linéaire ou non, type de problème quasi-statique, dynamique, fatigue, thermique, ...

2 - Vérification des données du problème :

- Vérification de la géométrie de la pièce et du maillage
- Vérification des propriétés matériaux utilisées
- Vérification de la prise en compte des sollicitations et des conditions cinématiques imposées
- Vérification de la prise en compte des conditions initiales et de contact-frottement

3 - Exécution du calcul :

Un fichier résultats se souvent construit et qui permet de vérifier que les différentes phases de calcul se sont correctement déroulées :

- Interprétation des données, vérification des paramètres manquants

- Construction des matrices (espace utile pour les gros problèmes)
- Singularité de la matrice raideur (problème de conditions aux limites ou de définition des éléments)
- Convergence, nombre d'itérations, temps CPU

Attentionne, ce fichier souvent volumineux peut contenir aussi les résultats du problème (déplacements, résidus, contraintes, déformation, température, contact...). Il faut sauvegarder le mini d'information utile.

4 - Exploitation des résultats :

Les calculs demandés ont pour objectif de valider ou de vérifier le dimensionnement d'une structure. Les résultats obtenus et les conclusions relatives aux phénomènes à étudier devront être présentés de façon synthétique : tableaux, courbes, visualisation.

Pour valider la solution du problème, il faut procéder dans l'ordre, en estimant dans un premier temps la précision du modèle. Puis lorsque celle-ci est jugée suffisante, nous procédons à sa validation. Les indicateurs sur la précision du modèle sont généralement locaux. Ils concernent des informations élémentaires calculées aux nœuds ou aux points d'intégration, ces informations sont très souvent fournies en valeur moyenne sur l'élément.

Les indicateurs locaux sur la précision d'un modèle en mécanique peuvent être :

- Discontinuité des contraintes entre des éléments adjacents.
- Contraintes sur les bords libres (certaines valeurs doivent être nulles). En pratique il faudra estimer ces valeurs à partir des valeurs obtenues aux points d'intégration.
- Densité d'énergie interne de déformation sur chaque élément, l'idéal étant d'avoir un écart le plus faible possible

III.1.5/Les principales étapes d'un modèle éléments finis :

Les méthodes aux éléments finis se distinguent des différences finies par trois points principaux :

- le maillage est dans la quasi-totalité des cas non structuré

- l'équation résolue n'est pas l'équation originale elle-même mais une forme intégrale de cette équation. On cherche à résoudre l'équation « en moyenne » sur le domaine de calcul
- la solution est exprimée comme la somme de fonctions élémentaires dont la forme est connue à l'avance

Le principe des éléments finis est expliqué pour des EDPs en deux dimensions d'espace ; il est exactement le même pour une ou trois dimensions (cependant, peu d'applications unidimensionnelles existent).

Les principales étapes de construction d'un modèle éléments finis sont :

- Discrétisation du milieu continu en sous domaines (éléments)
- Construction de l'approximation nodale par sous domaine.
- Calcul des matrices élémentaires correspondant à la forme intégrale du problème.
- Assemblage des matrices élémentaires
- Prise en compte des conditions aux limites.
- Résolution du système d'équations (linéaire ou non).
- Post-traitement des résultats.

III.1.6/Mise en œuvre de la méthode des éléments finis :

III.1.6.1/Formulation variation elle forte :

La formulation forte d'un problème aux conditions aux limites s'écrit alors comme suit :

Trouver $U(x)U(x) \in$ espace des solutions *Us* tel que **[25]**

$$\mathcal{L}(\mathrm{u}) - \mathrm{F} = 0 \; \forall \; \mathrm{x} \in \Omega \mathrm{B}\,(\mathrm{u}) = \; \mathrm{u}_0 \forall \; \mathrm{x} \; \in \; \Gamma \mathrm{u}0 \qquad \textbf{(III.1)}$$

On note que l'espace Us dans lequel nous recherchons la fonction u, doit être défini Judicieusement.

III.1.6.2/Formulation variation elle faible :

La formulation variation elle faible peut être obtenue par les étapes suivantes :

1) approcher la solution u, partout dans le domaine Ω, par u tel que **[26]**

$$\tilde{u} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} N_i \, \tilde{u}_i \qquad \textbf{(III.2)}$$

Ou $N_i = N_i(x, y)$ désignent les fonctions de forme u et des valeurs nodales indéterminées.

2) introduire (III-1) dans (III-1) il en résulte une erreur ou un résidu ε tel que

$$\varepsilon = \mathcal{L}(u) - F \neq 0 \qquad \textbf{(III.3)}$$

Ou $\varepsilon = 0$, $u = u$ c.à.d. lorsqu'une solution exacte existe.

3) obtenir une valeur nulle de ε en introduisant une fonction de point arbitraire W tel que

$$\int w(\mathcal{L}(\tilde{u}) - F)\, d\,\Omega = 0, k = 1, 2 \ldots . N \qquad \textbf{(III.4)}$$

Ou N Nombre d'inconnues indépendants du système (III-1).

En formulation de Galerkine les fonctions tests sont assimilées aux fonctions de forme.

On pose

$$w_k = N_k \Longrightarrow \int N_k \mathcal{L}(\sum_{i=1}^{n} N_i \tilde{u}_i) d\ \Omega = 0 \qquad \textbf{(III.5)}$$

On dit que u $\in H_0^1(\Omega)$ est une solution faible de (III5 ?) si :

$$\forall\ v\ \in (\Omega) H_0^1 a(\tilde{u}, v) \qquad \textbf{(III.6)}$$

A (u, v) est la forme bilinéaire associée à $(\mathcal{L})$ Soit Ω un ouvert borné de Rd et $\partial\Omega$ est régulier.

On considère alors le problème :

$$Lu = f \text{ sur } \Omega \text{ et } u = 0 \text{ sur } \partial\,\Omega = 0 \qquad \textbf{(III.7)}$$

III.1.6.3 : Forme générale des équations du système [27] :

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

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_{\emptyset} \emptyset) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_X c_{\emptyset} \emptyset) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_y c_{\emptyset} \emptyset) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_{\emptyset} \frac{\partial x}{\partial y}\right) + S_{\emptyset} \qquad \textbf{(III.8)}$$

$\emptyset$: Variable généralisée.

$c_{\emptyset}$: Coefficient d'advection transitoire.

$\Gamma_{\emptyset}$: Coefficient de diffusion.

$S_{\emptyset}$: Termes source.

Variable ∅	coefficient d'advection $c_\emptyset$	Diffusivité $\Gamma_\emptyset$	Termes source $S_\emptyset$
V_X	1	μ_t	$-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)$
V_y	1	μ_t	$-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)$
T	1	$\frac{k}{\rho c^e}$	$\frac{\varphi}{\rho c^e}$
ρ	1	0	0

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

III.1.7 : 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 **[26].**

$$\left[A_e^{transient}\right]+\left[A_e^{advection}\right]+\left[A_e^{diffusion}\right](\emptyset_e)=\left(S_e^{\emptyset}\right) \qquad \text{(III.9)}$$

III.1.7.1 : Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini :

- ***Bilan Thermique : Equation De Chaleur***

Soit v une partie quelconque de **V** limitée par la surface

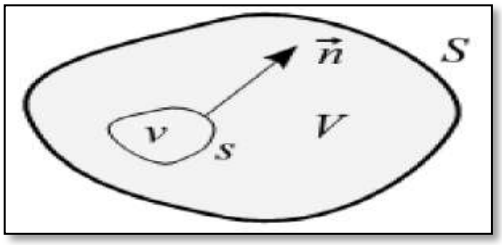


Figure III.1 : bilan thermique

La puissance thermique stockée dans **v** est égale à la somme de la puissance thermique q générée par les sources volumiques contenues dans **V** et de la puissance thermique reçue sous forme de flux a travers la surface **S [27]:**

$$\int \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dv = \int q dv + \int -\vec{n}\left(-\bar{\bar{\lambda}}\overrightarrow{grad}\mathrm{T}\right)ds \qquad \textbf{(III.10)}$$

Le domaine v étant arbitraire, on en déduit : en tout point du solide :

$$\rho c_p \dot{T} - \mathrm{div}\left(\bar{\bar{\lambda}}\overrightarrow{grad}\mathrm{T}\right)\mathrm{q} = 0 \qquad \textbf{(III.11)}$$

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (III-28) s'écrit dans le repère orthonormé {x, y} **[64] :**

$$\rho c_p \dot{T} = \lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) + \mathrm{q} \qquad \textbf{(III.12)}$$

Où :

$$\dot{T} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

III.1.7.2 : Forme discrétisée : éléments finis :

La solution analytique de l'équation (III- 30) est en général inaccessible. On est donc conduit à chercher une solution approchée par une méthode numérique : la méthode des éléments finis. Cette méthode est un cas particulier de la méthode de Galerkin : le champ de températures et les fonctions test appartiennent au même espace de dimension finie.

Le domaine V est décomposé en sous-domaines Ve de forme géométrique simple (les éléments) relies entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération s'appelle maillage.

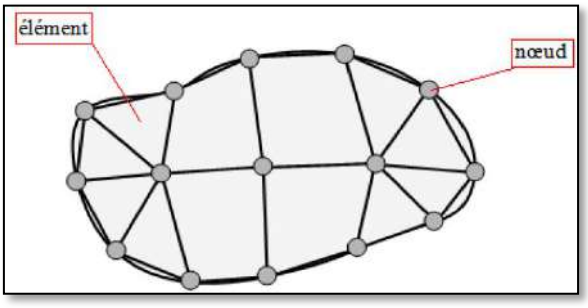


Figure III.2 : domaine plan discrétisé en 12 éléments reliés entre eux par 15 nœuds.

Le champ de températures T (x, y, t) dans l'élément (e) à pour expression **[28].**

$$T^e(x,y,t) = [N_1^e(x,y) \dots N_i^e(x,y) \dots N_{n^e}^e(x,y)] \begin{Bmatrix} T_1^e(t) \\ T_i^e(t) \\ T_{n^e}^e(t) \end{Bmatrix} \qquad \textbf{(III.13)}$$

$$T^e(x,y,T) = [N^e(x,y)]\left(T_{(t)}^e\right)$$

Où :

- n^e est le nombre de nœuds de l'élément.
- les fonctions $N_i^e(x,y)$ sont les fonctions d'interpolation élémentaires
- la matrice N^e est la matrice d'interpolation élémentaire
- le vecteur $T_{(t)}^e$ regroupe les températures des nœuds de l'élément (e)

III.1.7.3 : Représentation globale du champ de températures :

Le champ de températures T(x, y, t) a pour expression sur l'ensemble du domaine V

$$\mathrm{T(x,y,t)} = [N_1(x,y) \dots N_i(x,y) \dots N_n(x,y)] \begin{Bmatrix} T_1(t) \\ T_i(t) \\ T_n(t) \end{Bmatrix} \qquad \textbf{(III.14)}$$

$$\mathrm{T(x,y,t)} = [\mathrm{N(x,y)}]\big(\mathrm{T(t)}\big)$$

Ou :

- n est le nombre de nœuds du maillage.
- les fonctions $N_i(\mathrm{X,y})$ sont les fonctions d'interpolation (ou fonction de forme).
- la matrice $N[(X,Y)]$ est la matrice d'interpolation.
- $\{T\ (t)\}$ est le vecteur des températures nodales.

Les fonctions d'interpolation vérifient les relations :

$$N_i^e(x_i,y_j) = \delta_{ij} N_i(x_i,y_j) = \delta_{ij} \quad ;\ \forall\ i,j$$

$\mathrm{O}(X_i,Y_j)$sont les coordonnées du nœud j

III.1.7.4.Discrétisation de la forme intégrale faible :

De l'expression du champ de températures T sur le domaine : T = [N] (T)

$$\text{Et} \quad (\text{grad T}) = [\mathrm{B}](\mathrm{T}) \quad \text{avec} \quad [B] = [(B_1) \dots (B_i) \dots . B_n]$$

Où : (B_i)dépend du problème traité (spatial, plan, axisymétrique…) pour un problème spatial,(B_i)s'écrit dans le repère orthonormé (x, y).

$$(B_i) = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial N_i}{\partial x} \\ \dfrac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix}$$

$$T^* = [N](T^*) = (T^*)^T[T]^T \ et\ (grad\ T^*) = [B](T^*), (grad\ T^*)^T = (T^*)^T[B]^T$$

En portant ces relations dans l'équation (III.27), il vient :

$$(T^*)\left([C](\dot{T}) + [K](T) - (F)\right) = 0 \quad \textbf{(III.15)}$$

$$[\mathrm{K}] = \int_V^{\cdot}[B]T\lambda[B]\mathrm{dv} + \int_S^{\cdot}\mathrm{h}[\mathrm{N}]^{\mathrm{T}}[\mathrm{N}]\mathrm{ds} \quad \textbf{(III.16)}$$

Où :

$[\mathrm{C}]$:est la matrice de capacité thermique $[\mathrm{j}/°\mathrm{C}]$

$[K]$: est la matrice de conductivité thermique $[\mathrm{W}/\mathrm{m}°\mathrm{C}]$

(F) : est le vecteur des flux nodaux $[\mathrm{W}]$

(T) : est le vecteur des températures nodales $[°\mathrm{C}]$

III.2 : ANSYS :

III.2.1 : Présentation et description du logiciel ANSYS :

Le logiciel «ANSYS », a été développé par Dr.JohnSwanson, fondateur de la société «ANSYS », qui a son siège à Houston, PA, USA. Il s'agit d'un outil de développement en analyse d'ingénierie. La méthode utilisée est celle des éléments finis. Il est utilisé dans des domaines allant de l'automobile et l'électronique à l'aérospatiale et la chimie. Le logiciel ANSYS permet la modélisation de structures, produits, composantes ou systèmes et d'étudier leurs réponses physiques telles que les niveaux de contraintes, les distributions de température ou l'effet de champs électromagnétiques **[29]**

ANSYS permet également d'optimiser les paramètres de modélisation d'un système, de calculer des régressions linéaires et non linéaires et de générer des courbes de grande qualité. De plus, de nombreuses fonctions mathématiques et thermodynamiques utilisées dans le milieu de l'ingénierie sont incorporées dans le logiciel.

ANSYS est le premier éditeur mondial dans le domaine du calcul par éléments finis. Les outils intégrés au logiciel permettent de résoudre les problèmes de validations produits de manière efficace. Ils permettent d'optimiser le processus de conception (gain de temps énorme) et donc de proposer des produits plus innovants (intégration d'une pré-analyse dans le cycle de conception), de qualité plus élevée tout en minimisant les coûts. **[30]**

Les différentes étapes nécessaires à la simulation d'un problème physique :

- Type de calcul (2D ou 3D)
- Choix du maillage
- Équations résolues
- Conditions aux limites

- Conditions initiales
- Mise en place d'obstacles
- Méthodes et paramètres numériques (choix des schémas, résidus…) **[31]**

III.2.2/Maillage *:*

D'habitude l'on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'interdit de choisir des maillages plus complexes. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on à tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (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 solution de l'équation aux dérivés partielles.

Toutes ces opérations sont assistées par des logiciels dédiés à éléments finis

Un maillage de très bonne qualité est essentiel pour l'obtention d'un résultat de calcul précis, robuste et signifiant. La qualité du maillage a un sérieux impact sur la convergence, la précision de la solution et surtout sur le temps de calcul. Une bonne qualité de maillage repose sur la minimisation des éléments présentant des ≪distorsions≫ (skewness en anglais), et sur une bonne ≪résolution≫ dans les régions présentant un fort gradient (couches limites, ondes de choc,. . .). Un bon maillage doit également être suffisamment ≪ lisse≫

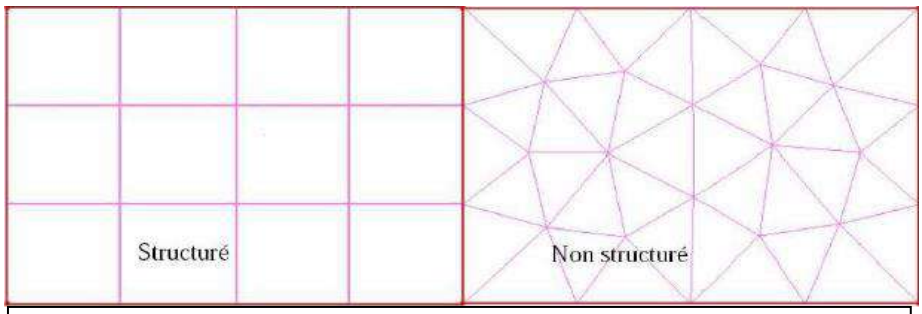


Figure III.3 : Maillages structuré et non structuré.

III.2.3 : Analyse des phénomènes thermiques :

Une analyse thermique calcule la distribution de température et les quantités thermiques associées dans un système ou un composant. Les quantités thermiques typiques d'intérêt sont :

- Les distributions de température
- La quantité de chaleur perdue ou gagnée

- Gradients thermiques
- Flux thermiques

Les simulations thermiques jouent un rôle important dans la conception de nombreuses applications d'ingénierie, notamment les moteurs à combustion interne, les turbines, les échangeurs de chaleur, les systèmes de tuyauterie et les composants électroniques. Dans de nombreux cas, les ingénieurs suivent une analyse thermique avec une analyse des contraintes pour calculer les contraintes thermiques (c'est-à-dire les contraintes causées par les dilatations ou les contractions thermiques).

III.2.4 : Comment ANSYS traite la modélisation thermique :

Seuls les programmes ANSYS / Multi-physis, ANSYS / Mechanical, ANSYS / Thermal et ANSYS / FLOTRAN supportent les analyses thermiques.

La base de l'analyse thermique dans ANSYS est une équation d'équilibre thermique obtenue à partir du principe de conservation de l'énergie. (Pour plus de détails, consultez la référence de la théorie ANSYS.) La solution d'éléments finis que vous effectuez via ANSYS calcule les températures nodales, puis utilise les températures nodales pour obtenir d'autres quantités thermiques.

Le programme ANSYS gère les trois principaux modes de transfert de chaleur : conduction, convection et rayonnement.

III.2.4.1 : Convection :

Un utilisateur ANSYS spécifie la convection en tant que charge de surface sur des éléments solides conducteurs ou des éléments de coque. Vous spécifiez le coefficient de film de convection et la température du fluide en vrac sur une surface ; ANSYS calcule ensuite le transfert de chaleur approprié sur cette surface. Si le coefficient du film dépend de la température, vous spécifiez un tableau des températures ainsi que les valeurs correspondantes du coefficient du film à chaque température.

Pour l'utilisation dans des modèles d'éléments finis avec des éléments de barres conductrices (qui ne permettent pas une charge de surface de convection), ou dans les cas où la température du fluide n'est pas connue à l'avance, ANSYS propose un élément de convection nommé LINK34. En outre, vous pouvez utiliser les éléments FLOTRAN CFD

pour simuler les détails du processus de convection, tels que les vitesses des fluides, les valeurs locales du coefficient de film et du flux thermique, et les distributions de température dans les régions fluides et solides.

III.2.4.2 : Rayonnement :

ANSYS peut résoudre les problèmes de radiation, qui sont non linéaires, de quatre manières :

- ✓ En utilisant l'élément de lien de rayonnement, LINK31
- ✓ En utilisant des éléments à effet de surface avec l'option de rayonnement (SURF19 ouSURF151 en modélisation 2D ou SURF22 ou SURF152 en modélisation 3D)
- ✓ En générant une matrice de rayonnement dans AUX12 et en l'utilisant comme super élément dans une analyse thermique.
- ✓ En utilisant les conditions aux limites de rayonnement dans une analyse FLOTRAN CFD.
- ✓ Pour des informations détaillées sur ces méthodes, voir le chapitre 4, "Radiation".

III.2.4.3 : Effets spéciaux :

En plus des trois modes de transfert de chaleur, vous pouvez tenir compte des effets spéciaux tels que le changement de phase (fusion ou congélation) et la génération de chaleur interne (par exemple par chauffage Joule). Par exemple, vous pouvez utiliser l'élément de masse thermique MASS71 pour spécifier les taux de production de chaleur dépendant de la température.

III.2.5 : Types d'analyse thermique :

III.2.5.1 : ANSYS supporte deux types d'analyses thermiques :

1. Une analyse thermique en régime permanent détermine la distribution de température et les autres grandeurs thermiques dans des conditions de charge en régime permanent. Une condition de chargement en régime permanent est une situation où les effets de stockage de chaleur variant sur une période de temps peuvent être ignorés.
2. Une analyse thermique transitoire détermine la distribution de la température et d'autres grandeurs thermiques dans des conditions qui varient sur une période de temps.

III.3 : Conclusion :

Lesmodèles physiques qui ont été présentés dans le chapitreprécédent permettent de prendre en compte tous les couplages 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 grands méthodes numériques qui sont utilisées généralement pour la résolution des systèmes d'équations aux drivées partielles, et ont à choisie la méthode des éléments finis pour discrétisé la forme générale des équations du system.Et nous avons donné un aperçu généralsur logicielle ANSYS.

Chapitre IV :
Résultat et discussion

IV.1 .Introduction:

Dans cette chapitre nous présentonsUne étude numérique complémentaire nous permettra d'évaluer l'impact du rapport entre la hauteur de la gare et la hauteur des tunnels.

Une fois que les mouvements d'air internes à la station sont connus par différents débits phrases, nous pourrons déterminer l'effet des entrées (nombres et positions) Nous évaluerons également l'impact que cela peut avoir la pression amont du tunnel diminue sur ces apports

IV.2 : Identification :

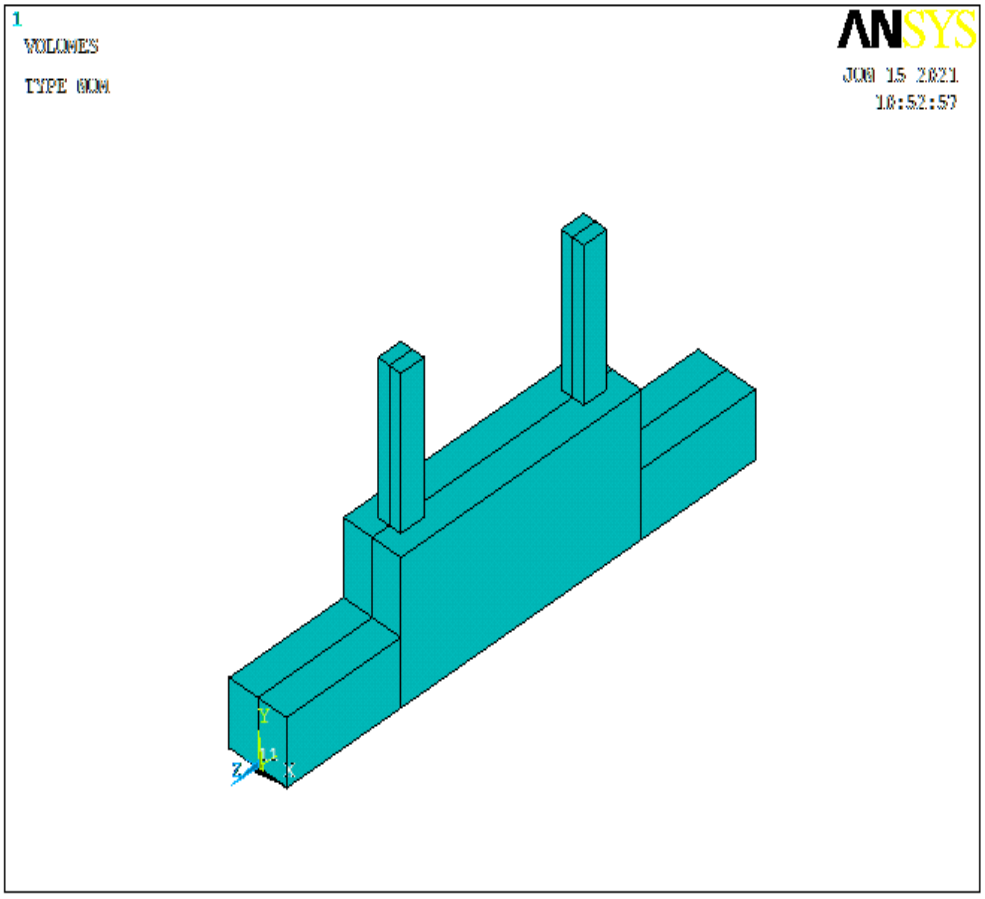


Figure IV.1 : représentation de la géométrie du tunnel

Propriété	***air***	***So2***
Densité[kg/m^3]	***1.2***	***1.977***
Viscosité[kg/m^3]	***1.2^{e}-5***	***1.49^{e}-5***
Conductivité[w/m.k°]	***0.0234***	***0.0145***
Chaleur spécifique[kj/kg.k°]	***1.004***	***0.848***

Tableau IV.1 :propriété de l'air et so2

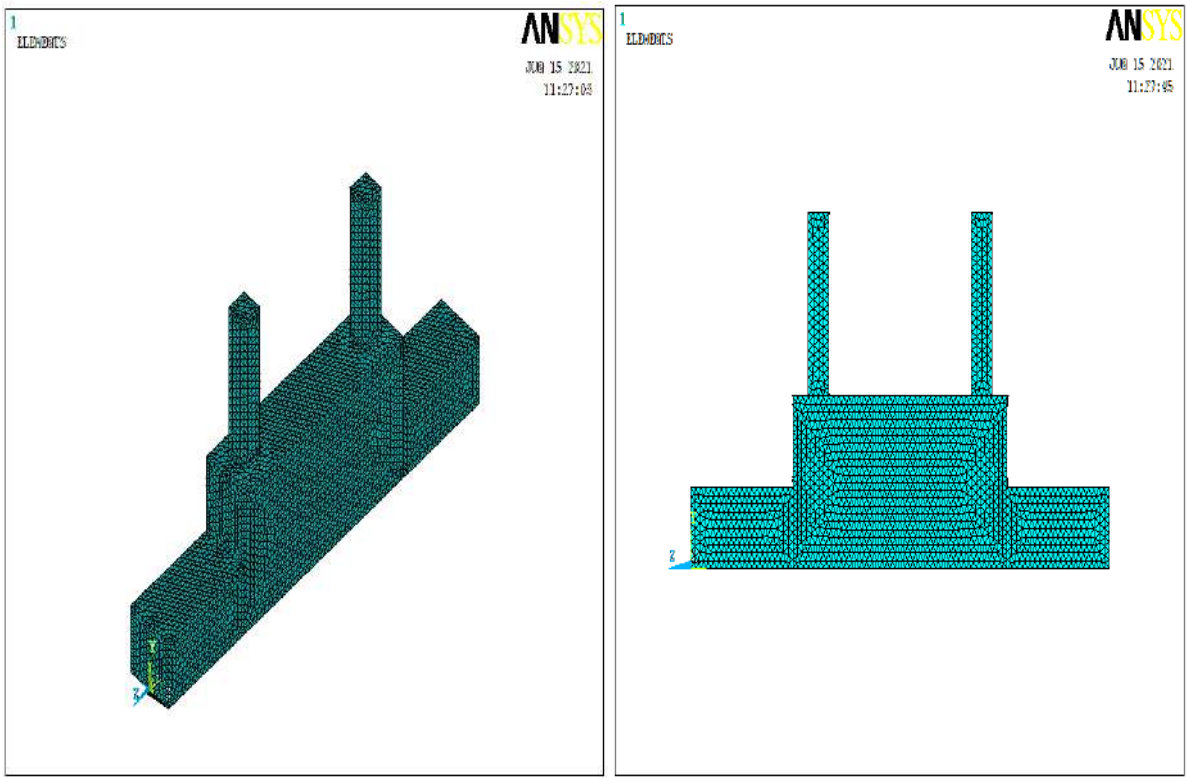


Figure IV.2 : représentation le maillage du tunnel

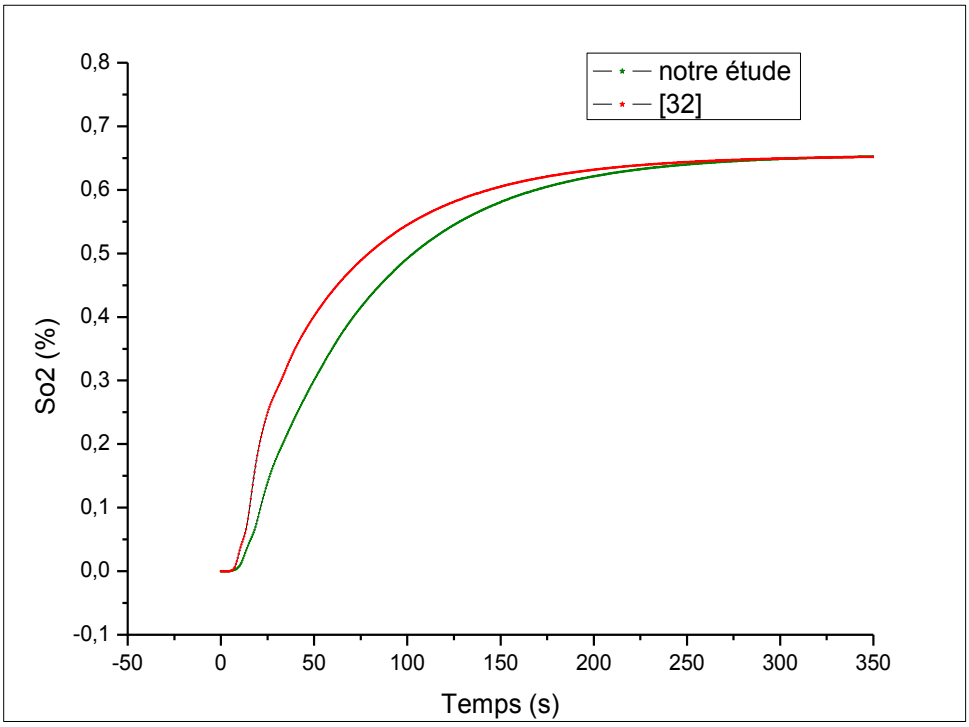


Figure IV.3 :la comparaison graphique de pourcentage de so2 dans le tunnel

La figure (IV.3) représenté la variation de pourcentage de so2 dans le tunnel ,on constate une même forme d'Alleur pour les deux résultats avec une légère différence causée par la modélisation et les méthodes de discrétisation utilisé pour les deux étude. Comme on note dans la courbe de hamza allounel'augmentation brusque ou début de la so2 être fixé à un pourcentage de so2 65% , alors que la courbe que nous étudions l'augmentation de so2 brusque ou début et être fixé a un valeur de 60 %

Expérience 01 : la polluions a l'entre

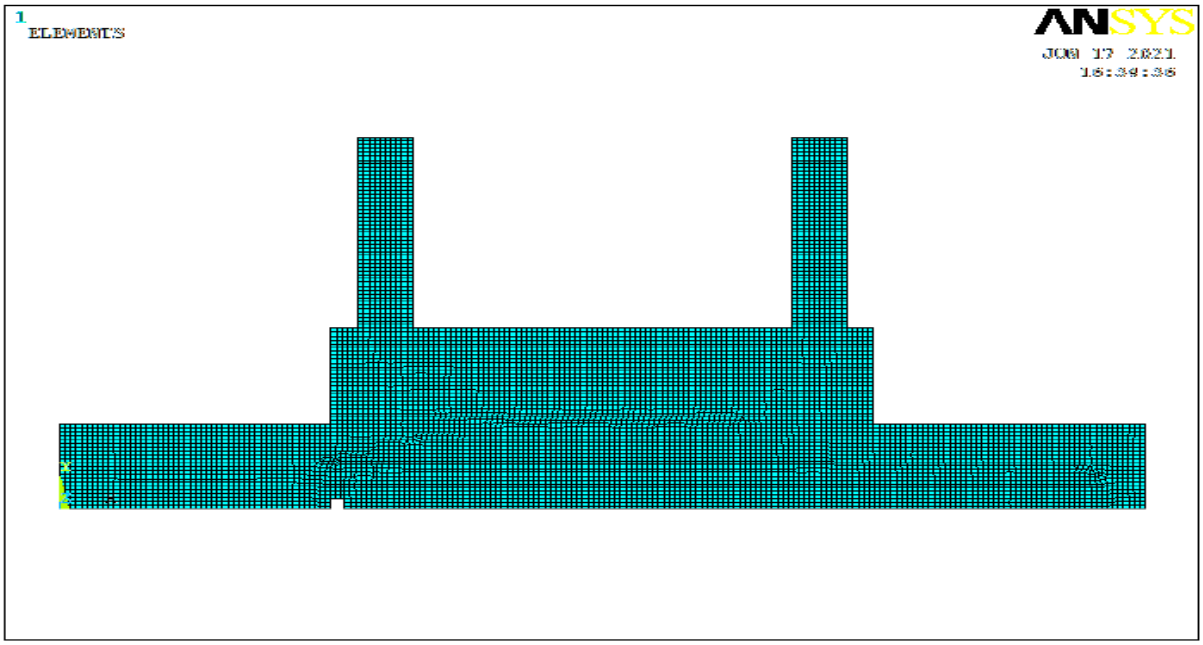


Figure IV.4 : représentation de maillage dans l'expérience 01

Tableau IV.2 : représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps .

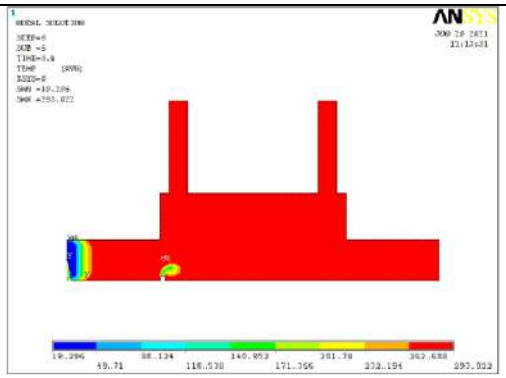
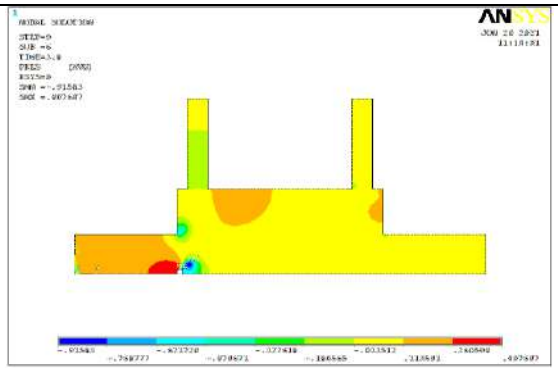
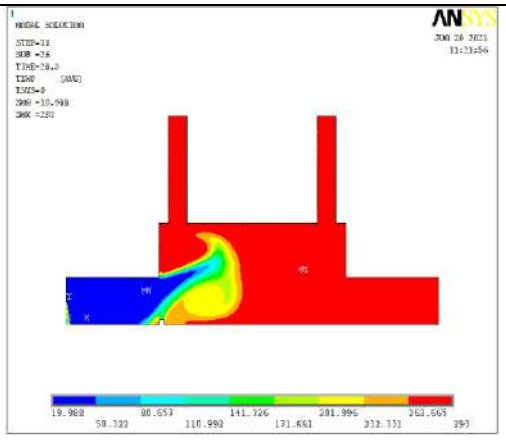
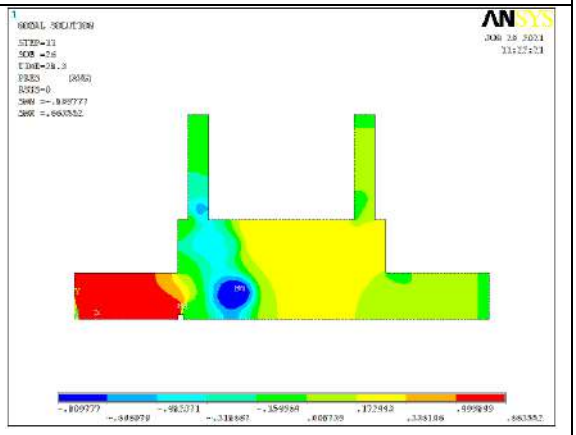
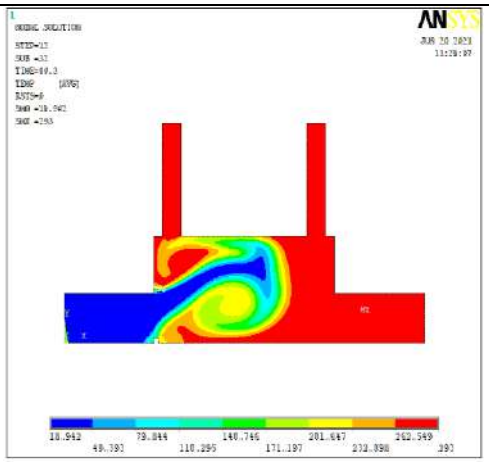
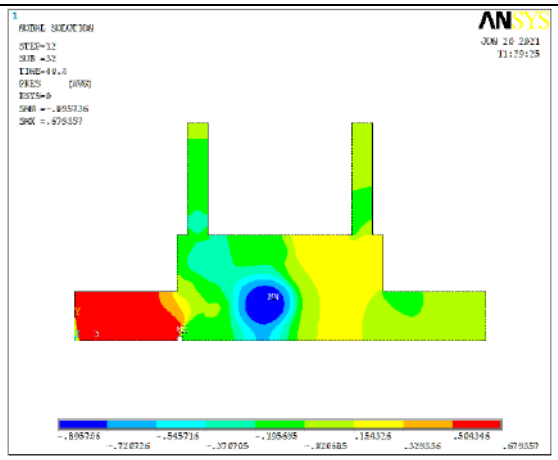
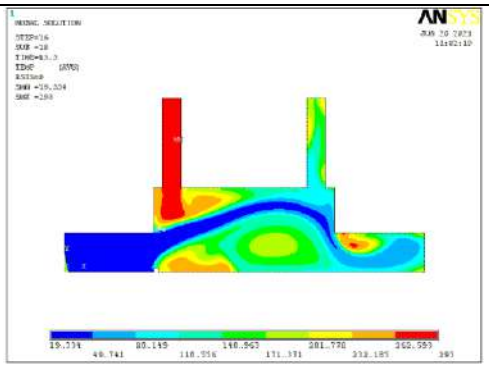
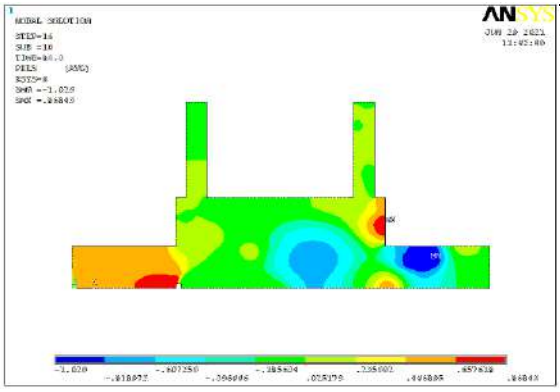
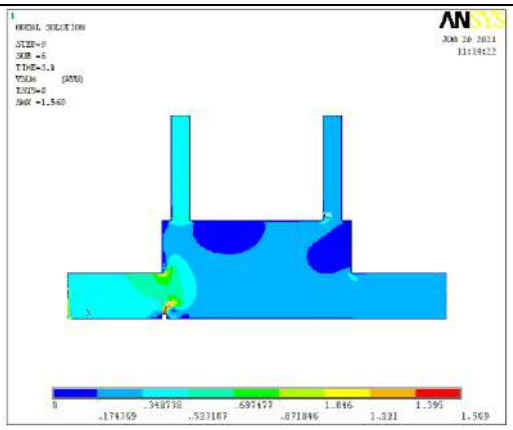
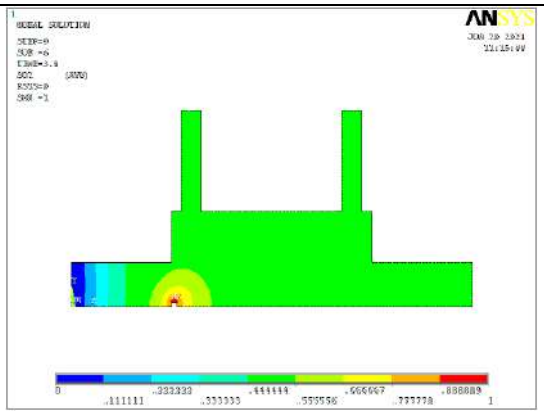
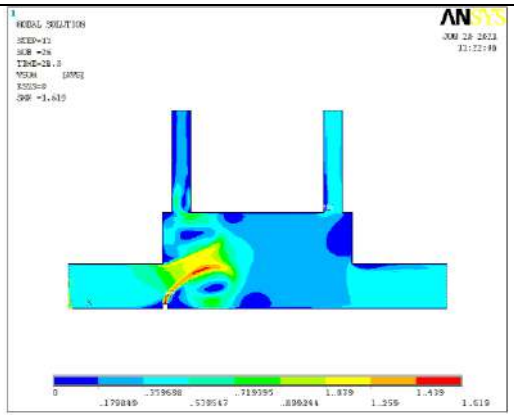
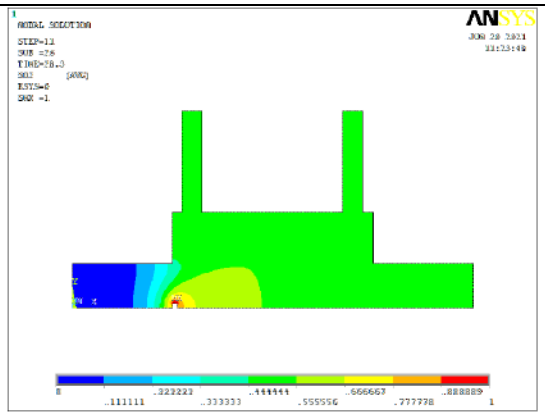
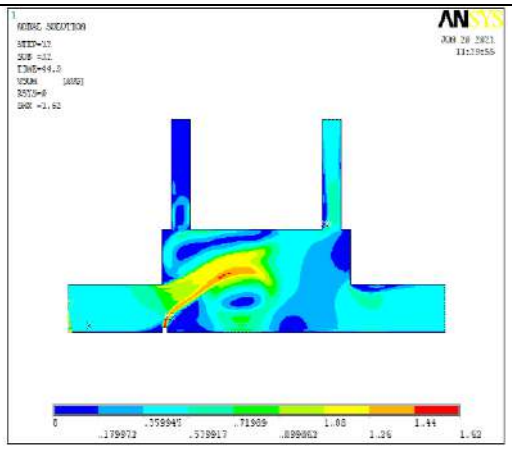
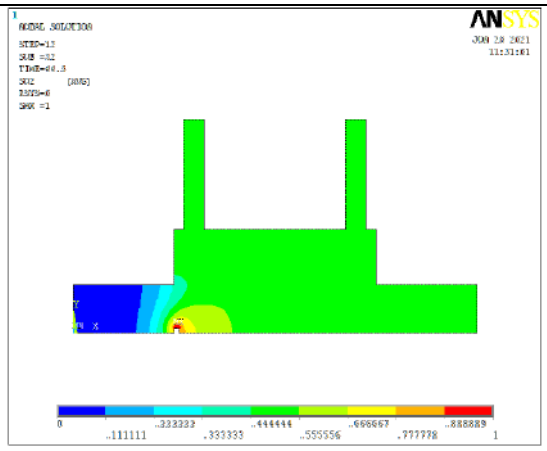
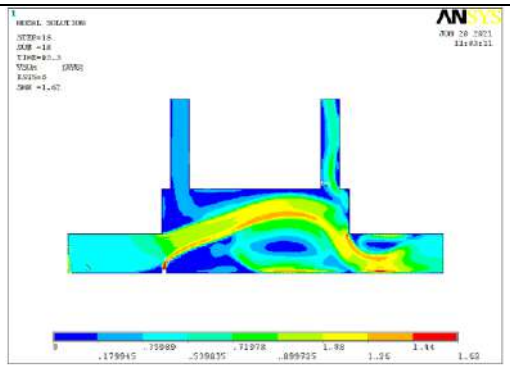
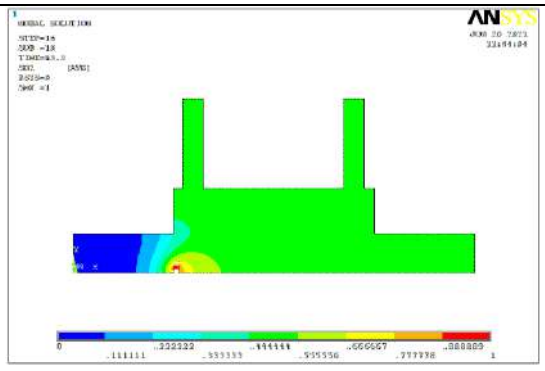
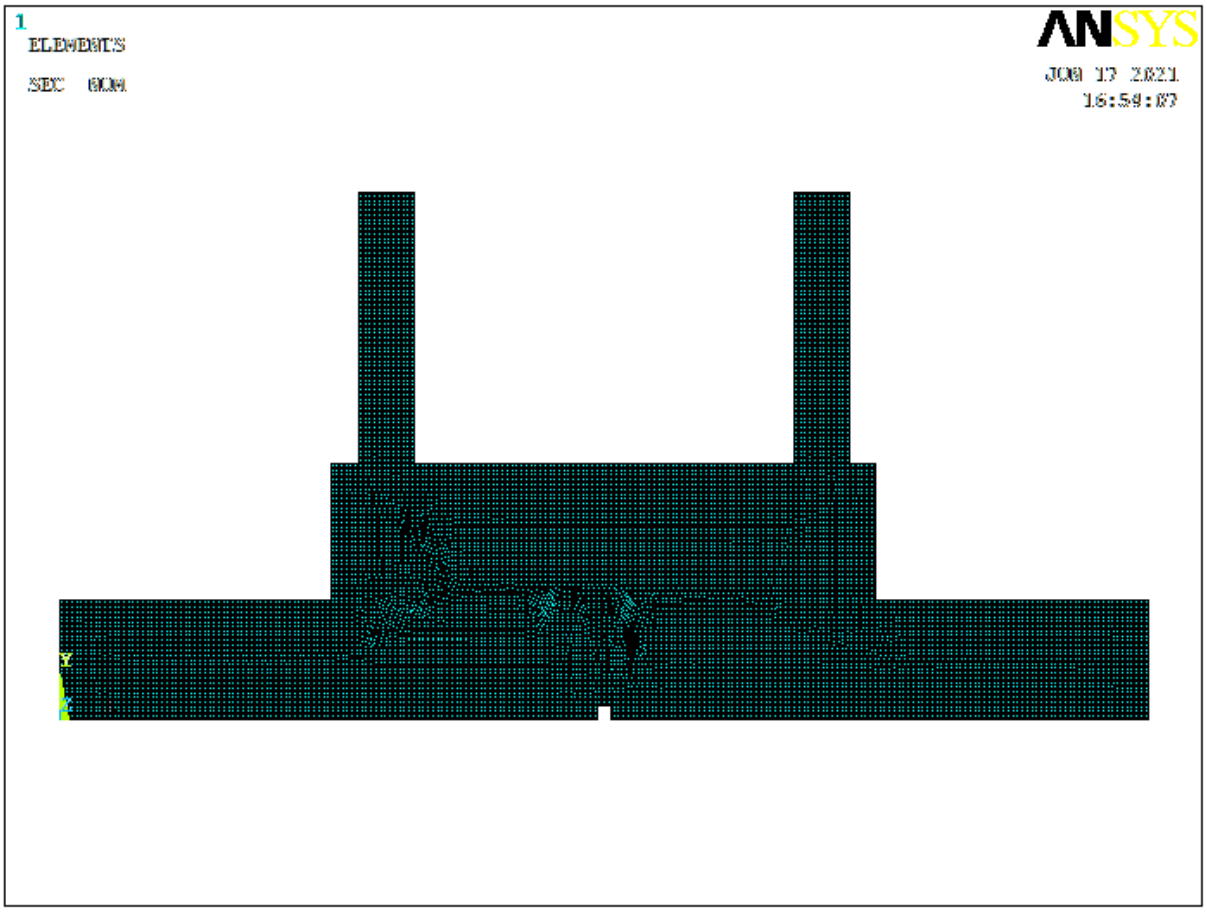
Temps	Température	Pression
3.8		
28.3		
44.3		
83.3		

Tableau IV.3 : représentation la dispersion de so2et la vitesse dans le temps.

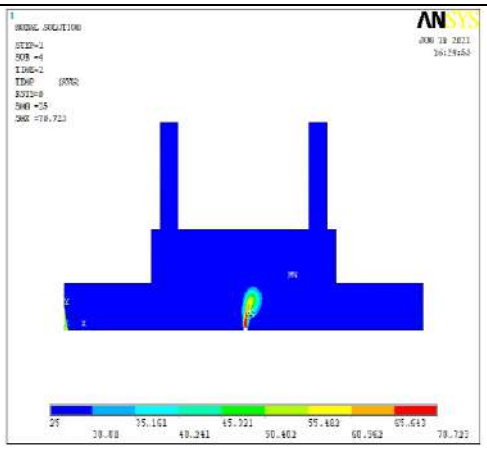
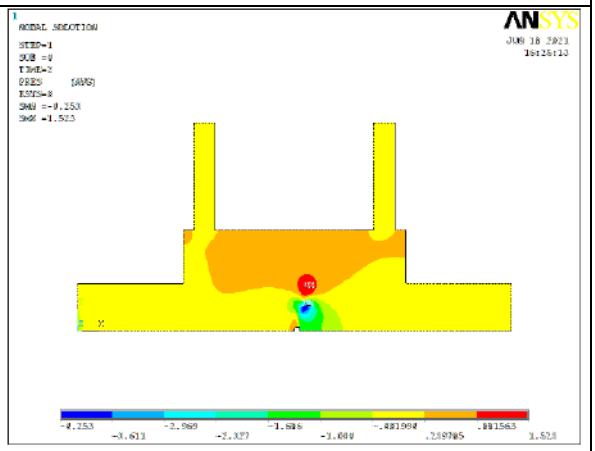
Temps	Vitesse	So2
3.8		
28.3		
44.3		
83.3		

Expérience 02 : la polluions en centre



La figure IV.5 : représentation le maillage de l'expérience 02

Tableau IV.4 : représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps .

Temps	*Température*	*pression*
02		

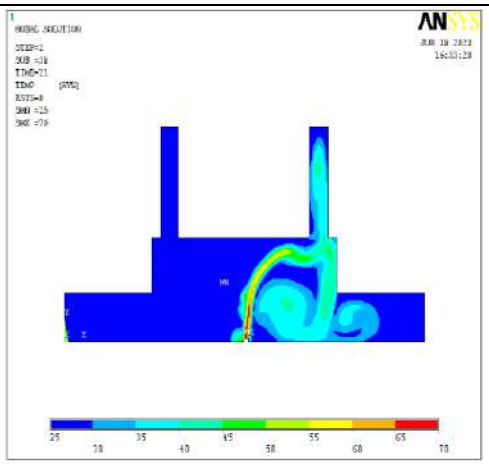
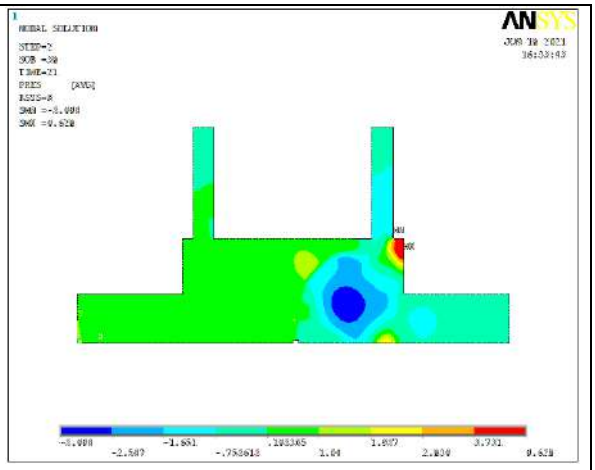
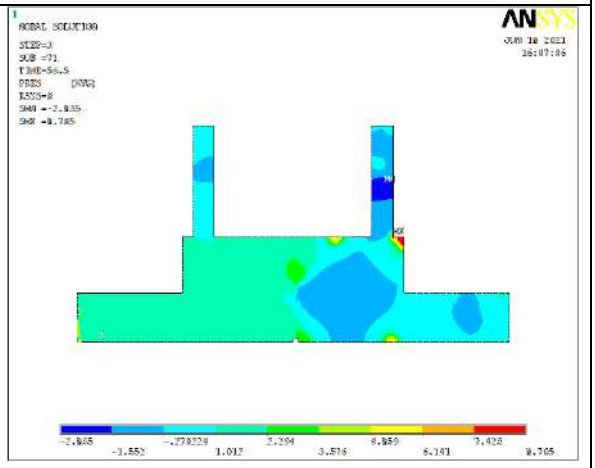
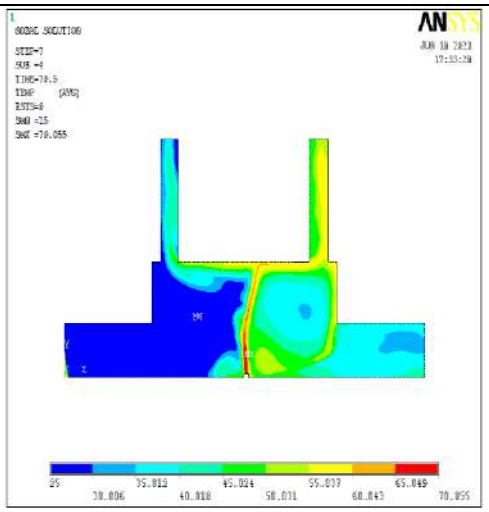
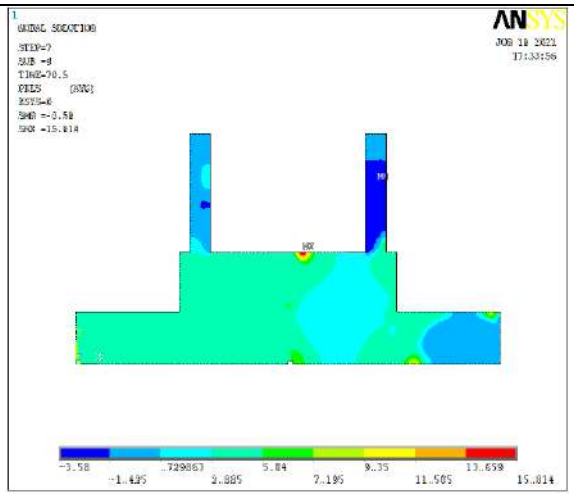
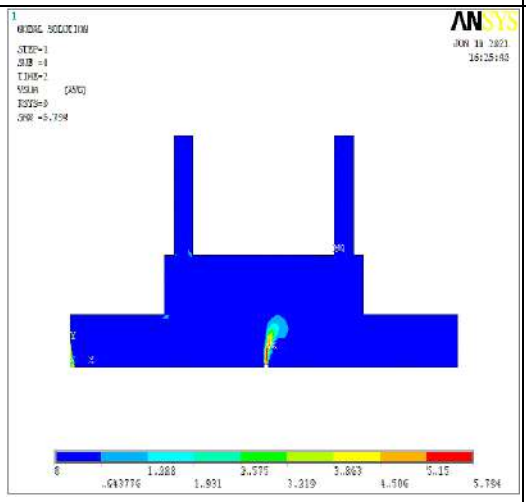
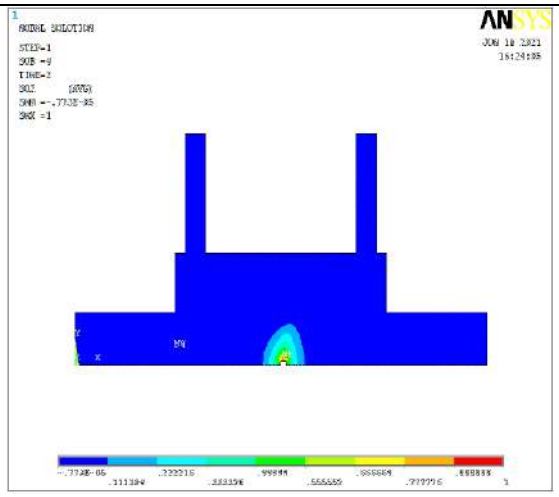
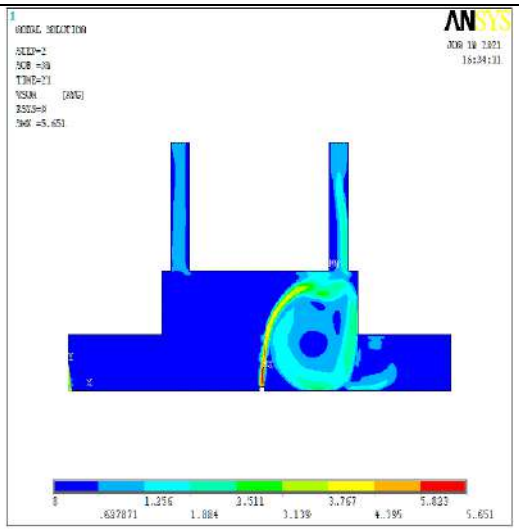
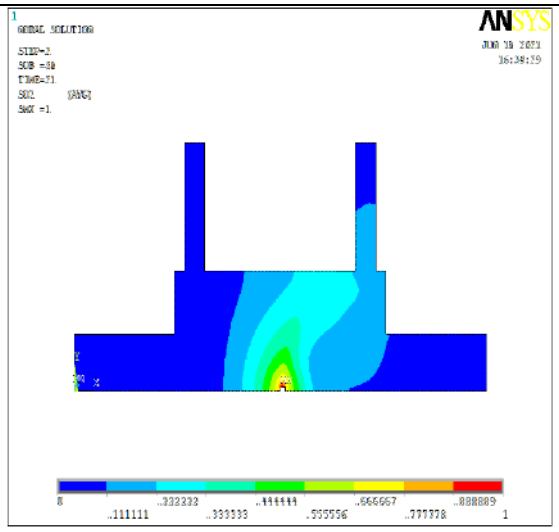
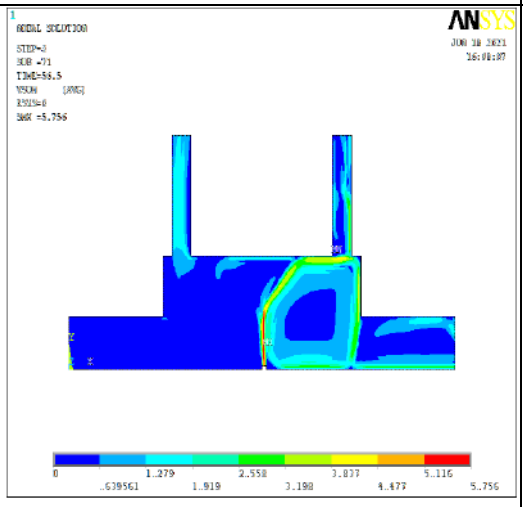
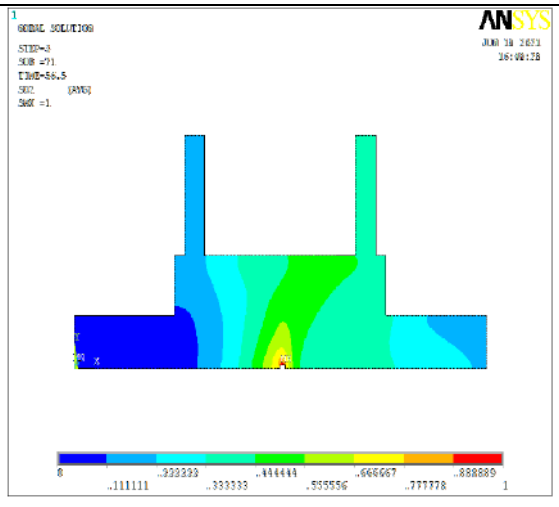
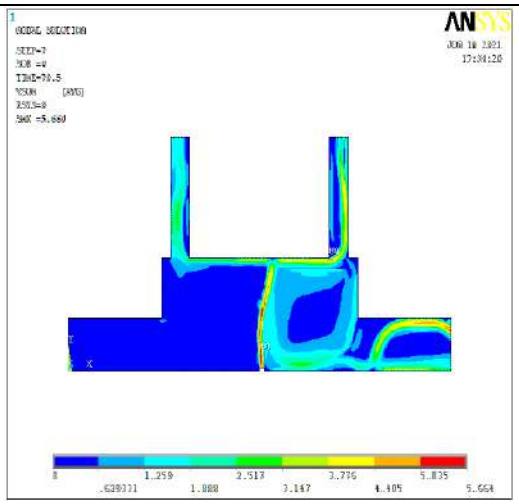
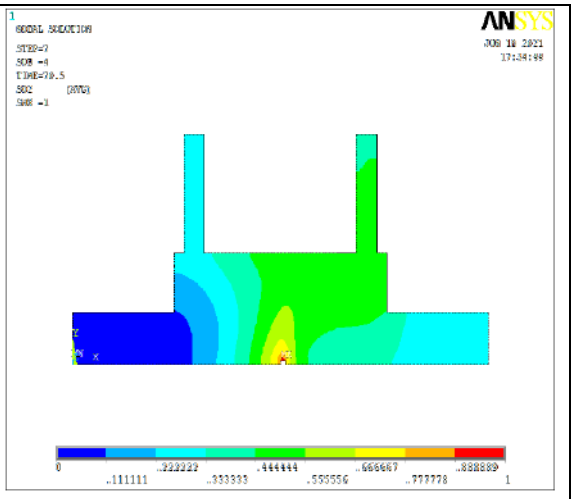
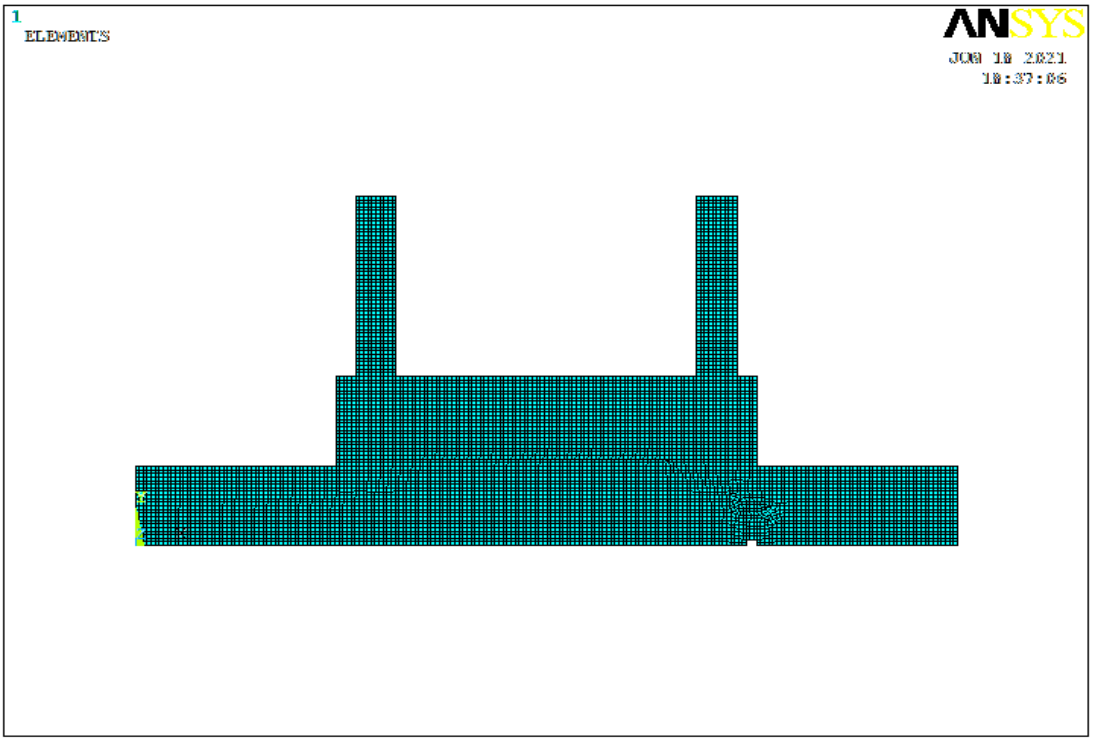
21		
56.5		
78.5		

Tableau IV.5 : représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps .

Temps	Vitesse	So2
02		
21		
56.5		

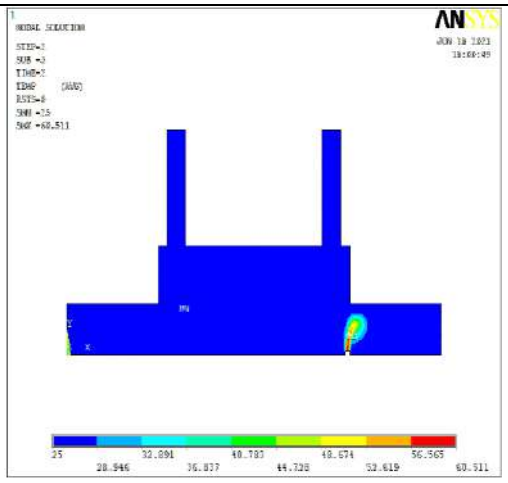
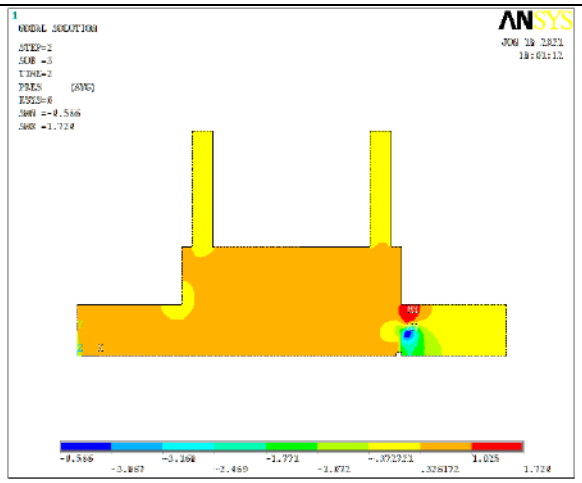
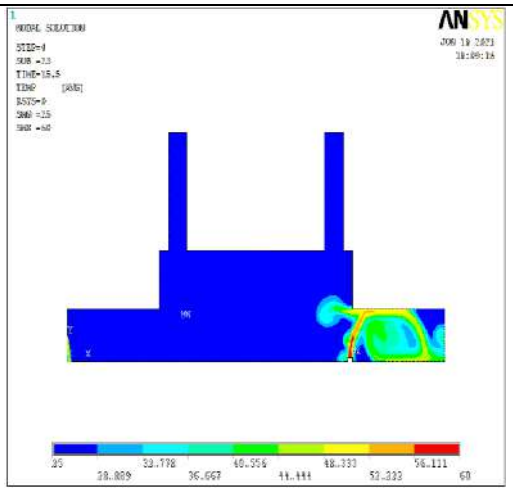
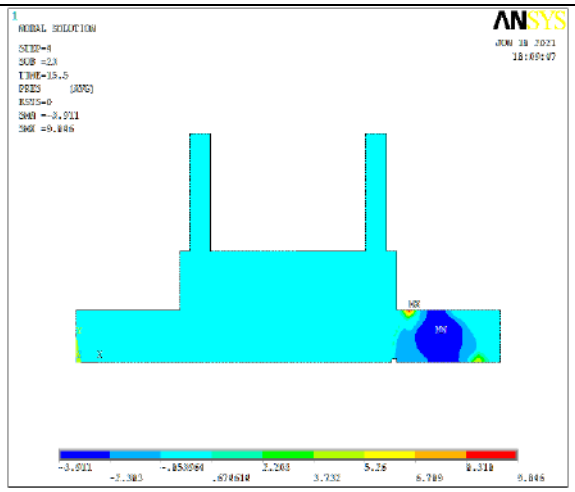
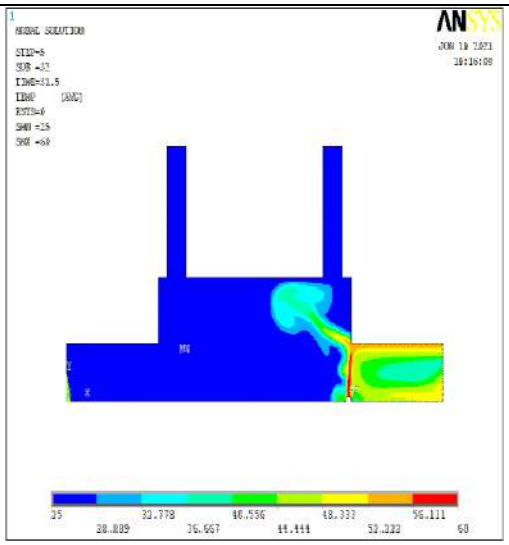
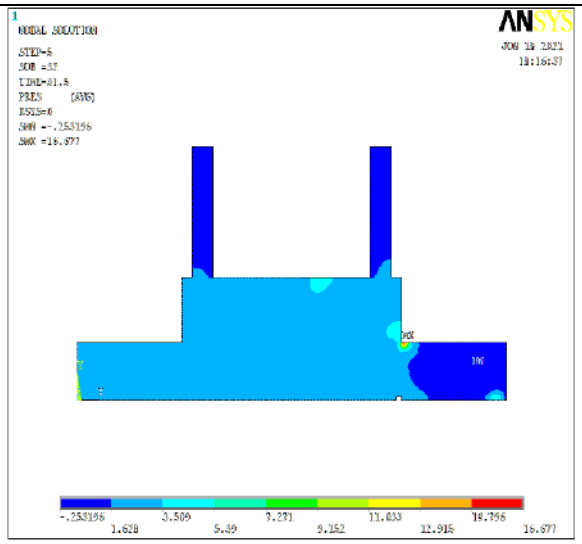
78.5		

Expérience 03 :la polluions a la sortie.



La figure IV.6 : représentation le maillage de l'expérience 3.

Tableau IV.6 : représentation de la dispersion de température et la pression dans le temps .

Temps	Température	Pression
02		
15.5		
31.5		

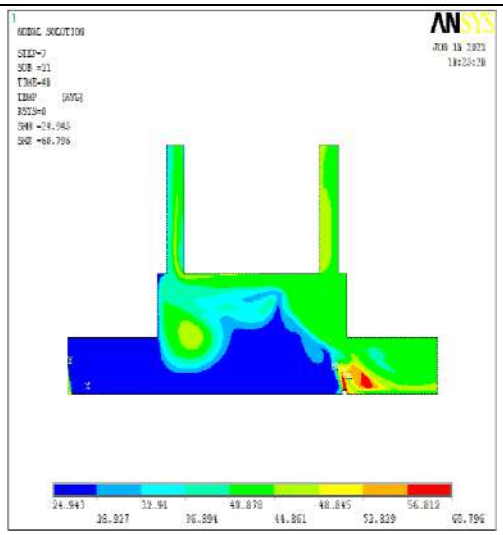
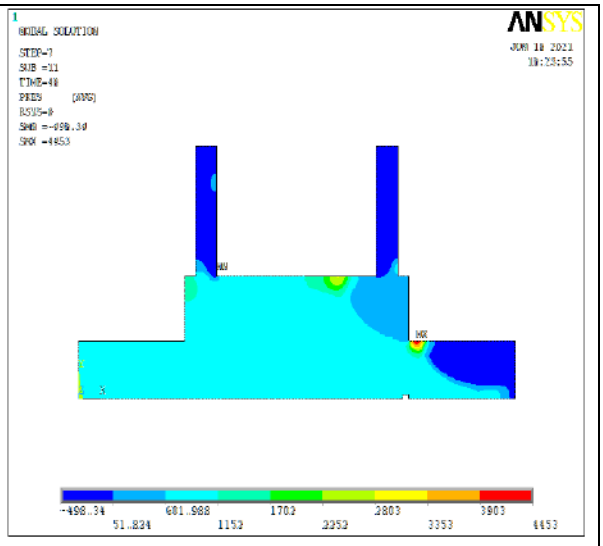
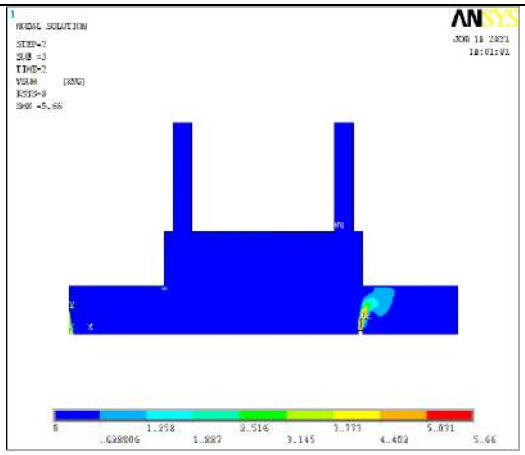
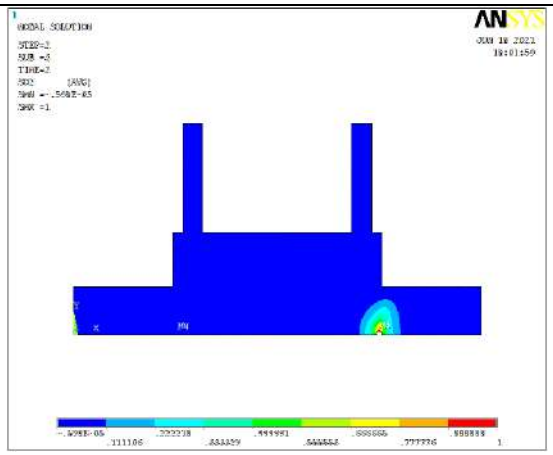
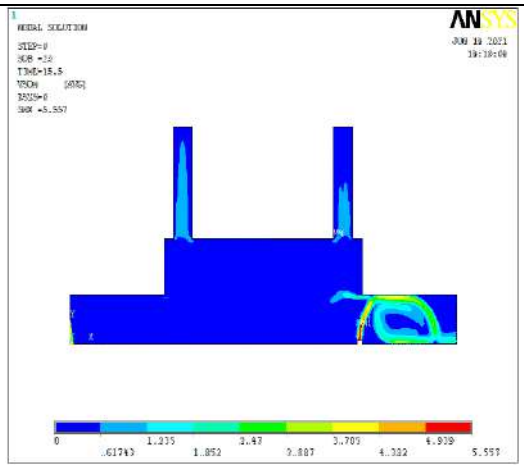
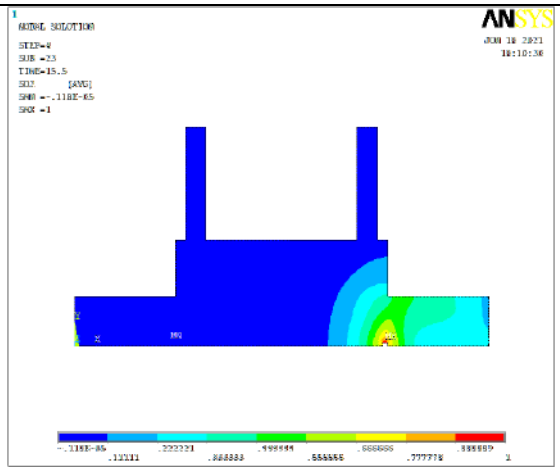
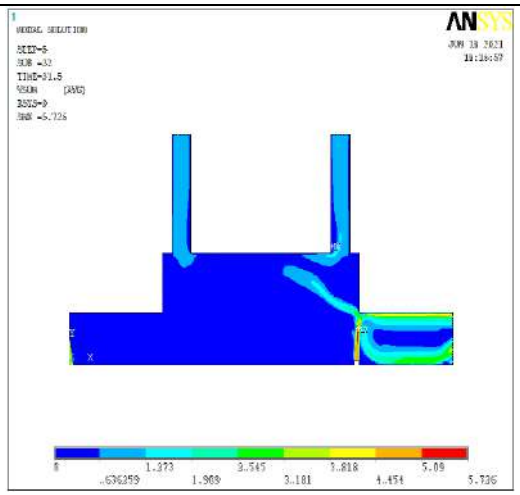
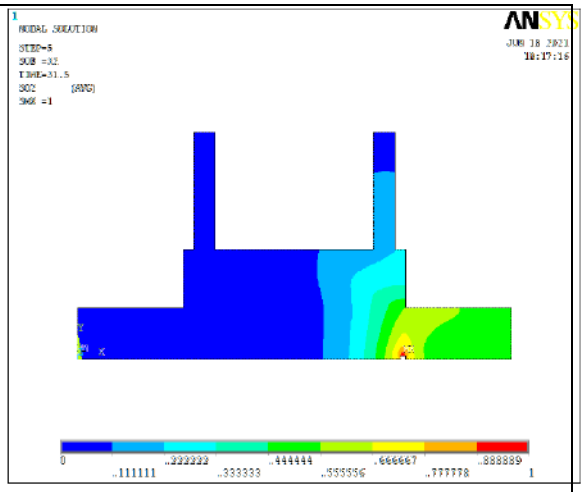
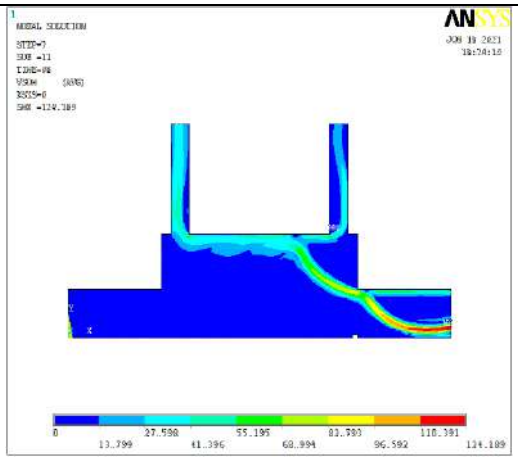
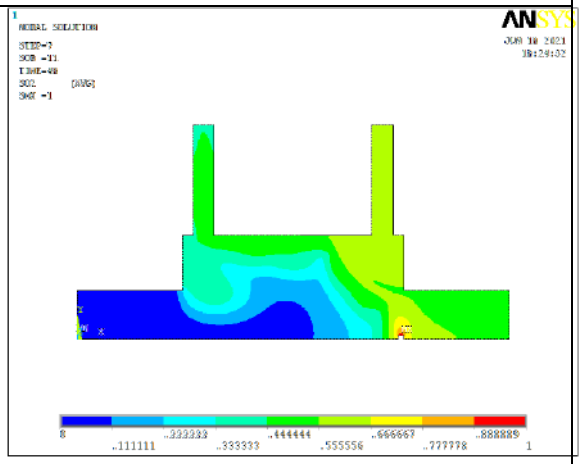
98		

Tableau IV.7 :représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps.

Temps	Vitesse	So2
02		
15.5		

31.5		
98		

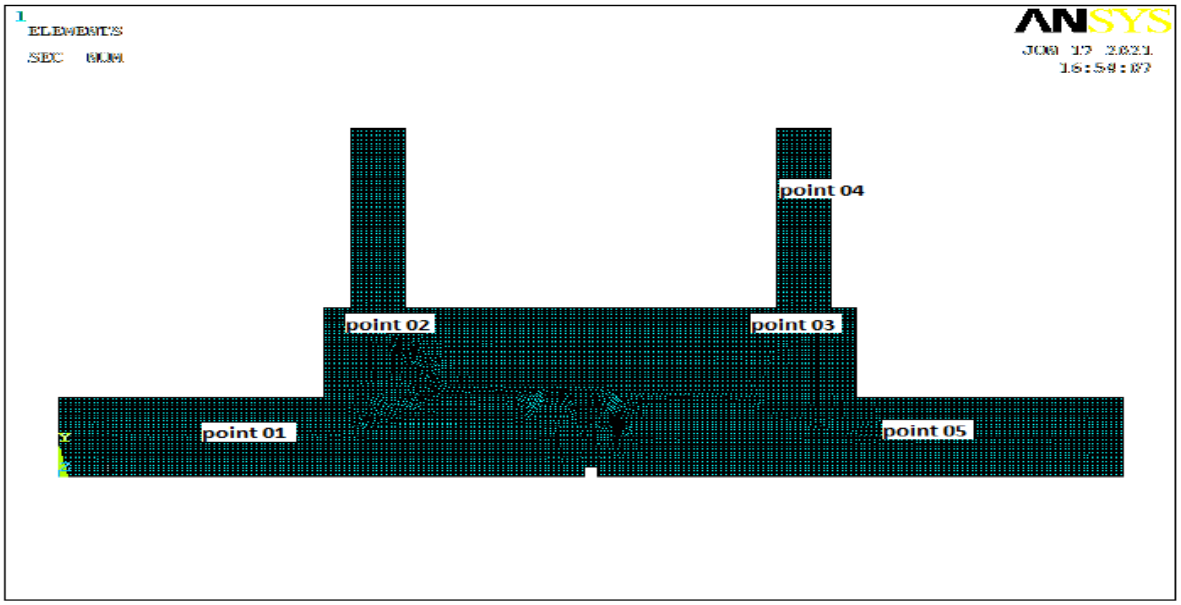


Figure IV.7 : Représentation les pointes

IV.03. Discussion graphiquement :

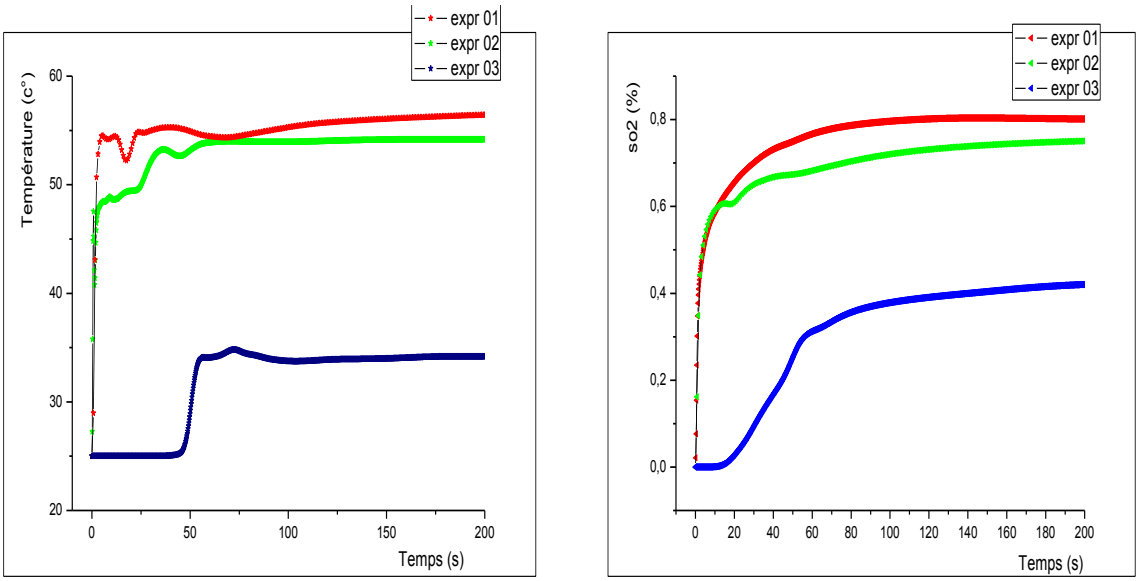


Figure IV.8 *:* profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 01 pour les trois expériences

La figure (IV.08) représenté la variation de température et le pourcentage de so2 en fonction de temps dans le point 01 à chaque expérience.

- ✓ Dans l'expérience 01 nous observons une augmentation de la température pendant les 10 premières secondes pour atteindre un valeur d'environ 55 °c. et observe l'augmentation rapidement de so2 pour un minute premier et pour atteindre un valeur de 80%.
- ✓ L'expérience 02 l'augmentation de température entre 10 premières secondes rapide et atteindre la valeur 50 °c et l'augmentation le pourcentage de so2 dans le 20 secondes premier rapidement jusqu'à la valeur 70 %
- ✓ L'expérience 03 la température elle est constant a la valeur 15 °c après 50 secondes puis escalader jusqu'à 35°c et atteindre après dans cette valeur et le pourcentage de so2 elle est constant après 20 secondes premier puis augmenter jusqu'à la valeur 40% .

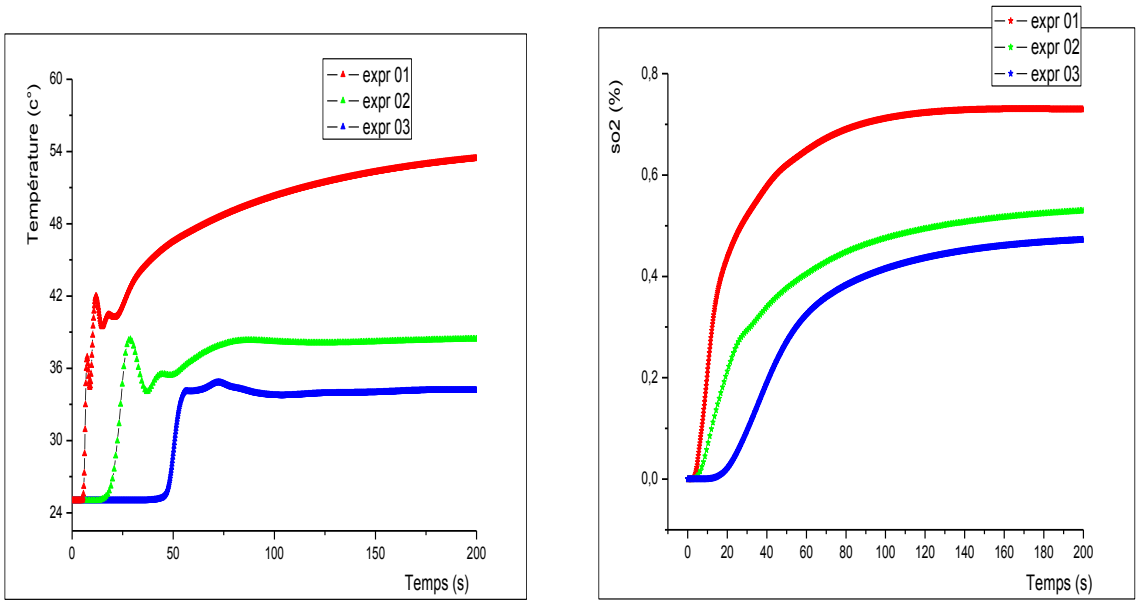


Figure IV.9 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 02 pour les trois expériences

La figure (IV. 09) montre que les températures et les pourcentage de so2 les plus élevées sont atteintes a proximité de la source dans le temps pour le point 02 à chaque expérience.

- Dans l'expérience 01 nous observons une augmentation brusque de la température et so2 être fixé à un température 50 °c et pourcentage de so2 70 %
- L'expérience 02 l'augmentation brusque ou début de la température et so2 être fixé à un température 40 °c et pourcentage de so2 50 %
- L'expérience 03 l'augmentation de température et so2 ou début ralentir après une courte période avoir une montée subite de température et so2 pour atteindre un valeur de 33 °c et pourcentage 45%

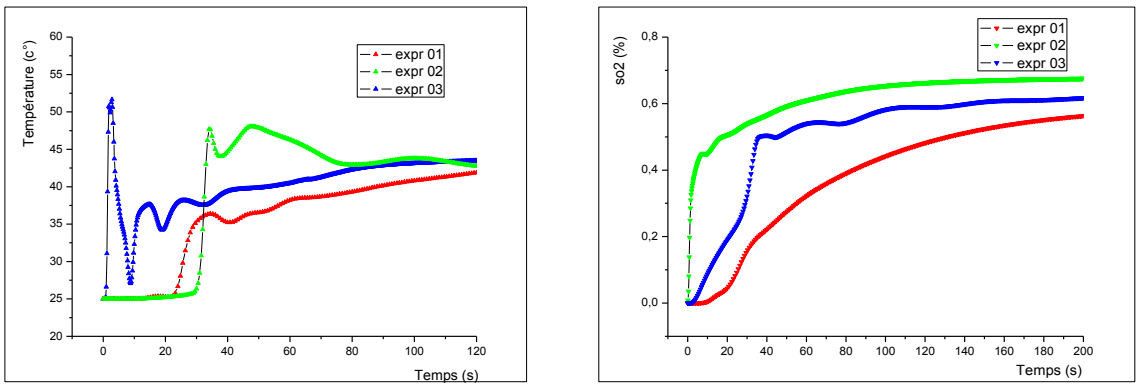


Figure IV.10 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 03 pour les trois expériences

La différence de température dans La figure (IV.10) , dans l'expérience 01 la température se stabilise de 25 °c lorsque le temps de 25 s âpres augment la température jusqu'a 40 °c, dans l'expérience 02 le même phénomène se reproduit et la température se stabilise autour de 47 °c ,dans l'expérience 03 évolue constamment et augment pendant les 2 première seconde pour atteindre un valeur d'environ 52 °c un première diminution intervient auteur de 27 °c le même phénomène se reproduit et la température se stabilise autour de 42 °c

La différence de so2 dans La figure (IV.10) dans l'expérience 01 le so2 se stabilise de 0 % lorsque le temps de 20 s âpres augment le so2 jusqu'a 55 % , dans l'expérience 02 évolue constamment et augment rapidement pendant les 80 première secondes pour atteindre un valeur d'environ 67 % , le même phénomène se reproduit le so2 se stabilise autour de 60 % dans l'expérience 03

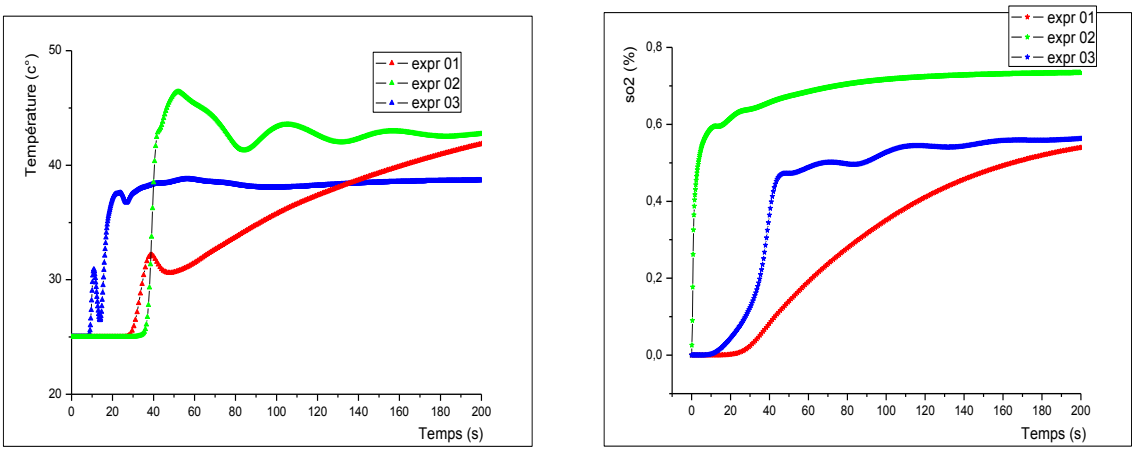


Figure IV.11 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 04 pour les trois expériences

Dans la figure (IV-11) Représenté la température et so2 en fonction de temps dans le pointe (04) à chaque expérience.

- L'expérience 01 Nous observons a la température se stabilise de 25 °c lorsque le temps de 25 s âpres augment la température jusqu'a 42 °c et le so2 se stabilise de 0 % lorsque le temps de 30 s âpres augment le so2 jusqu'a 50 %.
- L'expérience 02 la température se stabilise de 25 °c lorsque le temps de 40 s âpres augment la température jusqu'a 47 °c après la température subit alors une légère fluctuation puis retrouve une faible progression jusqu'à 42 °c et le pourcentage de

so2 évolue constamment et augment rapidement pendant les 60 première secondes pour atteindre un valeur d'environ 70%

- L'expérience 03 évolue constamment et augment pendant les 10 première seconde pour atteindre un valeur d'environ 31 °c un première diminution intervient auteur de 26 °c le même phénomène se reproduit et la température se stabilise autour de 38 °c . et le so2 se stabilise de 0 % lorsque le temps de 10 s âpres augment le so2 jusqu'a 52 %.

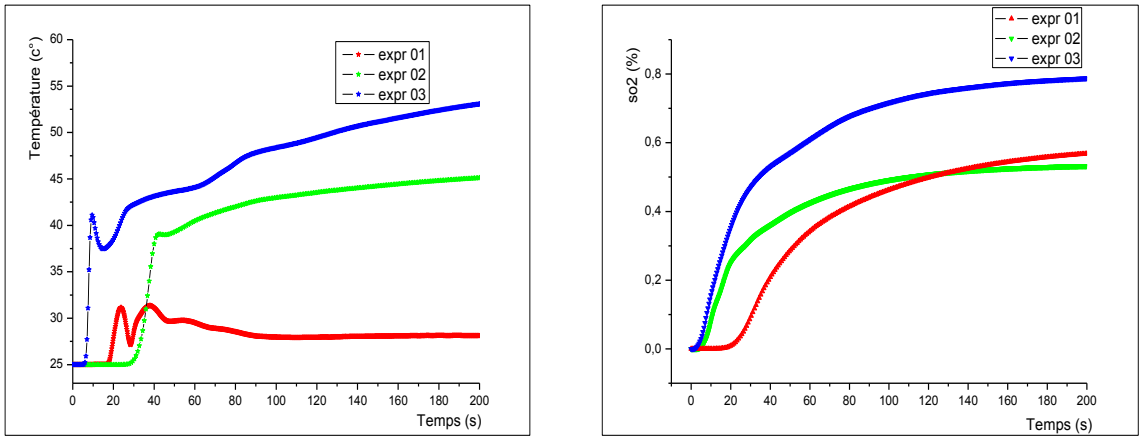


Figure IV.12 :profils avec le tempsde la température et so2 dans le point 05 pour les trois expériences

La figure (IV.12) représente l'évolution des température dans le pointe 05 a chaque expérience.

- L'expérience 01 nous observons un stabilise ou début jusqu'à 20 seconde pour atteindre un valeur d'environ 31 °c un première diminution intervient auteur de 26 °c le même phénomène se reproduit et la température se stabilise autour de 28 °c. et le so2 se stabilise de 0 % lorsque le temps de 20 s âpres augment le so2 jusqu'a 50 %.
- L'expérience 02 l'augmentation de température et so2 ou début ralentir après une courte période avoir une montée subite de température et so2 pour atteindre un valeur de 45 °c et pourcentage de so2 45%
- L'expérience 03 nous observons une augmentation brusque de la température et so2 être fixé à un température 55 °c et pourcentage de so2 75 %

IV.04 :L'effet de échanger le diamètre de cheminé :

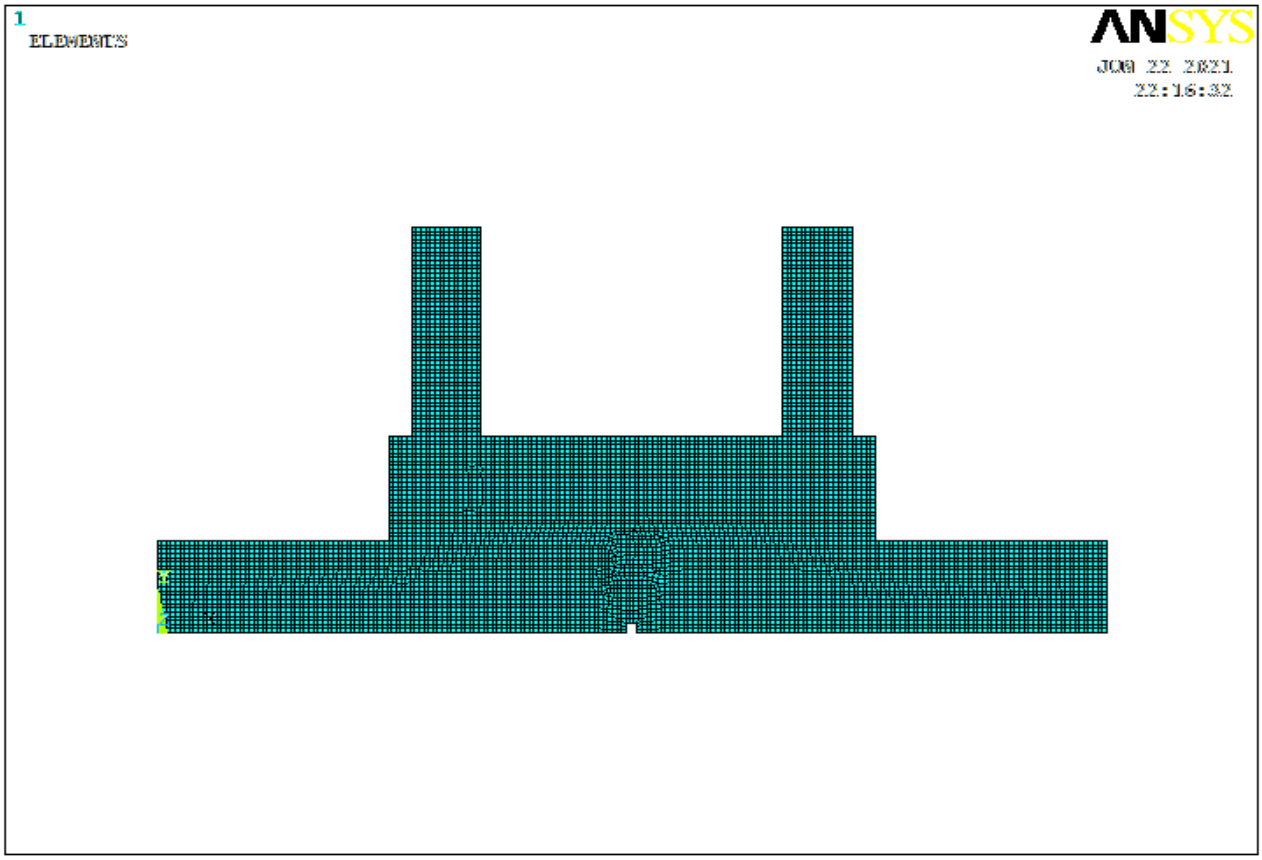
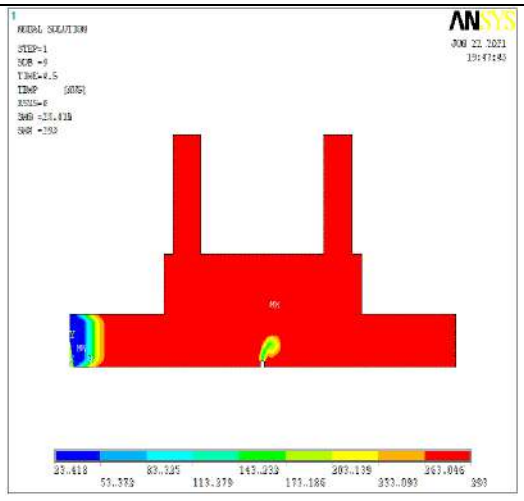
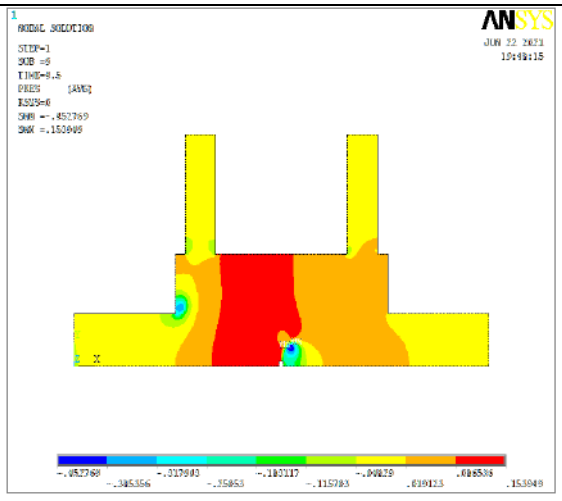
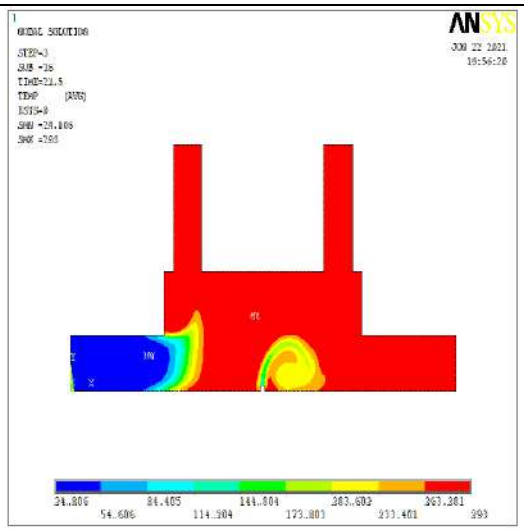
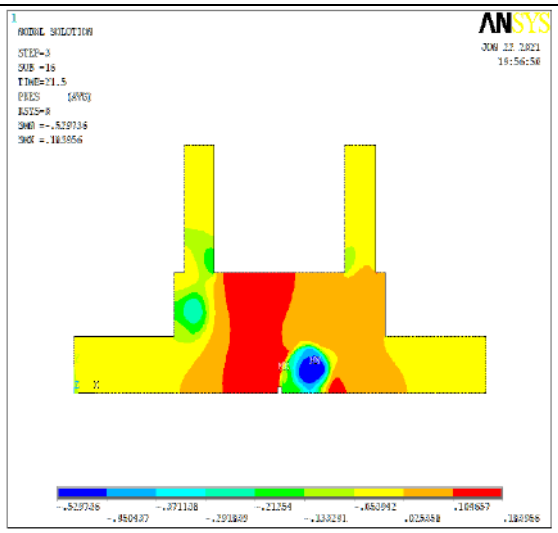
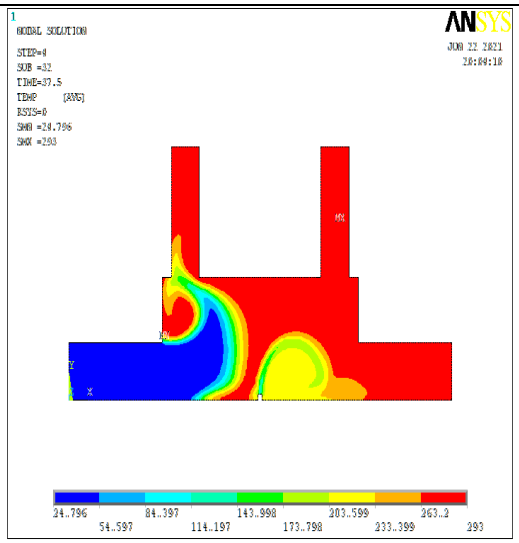
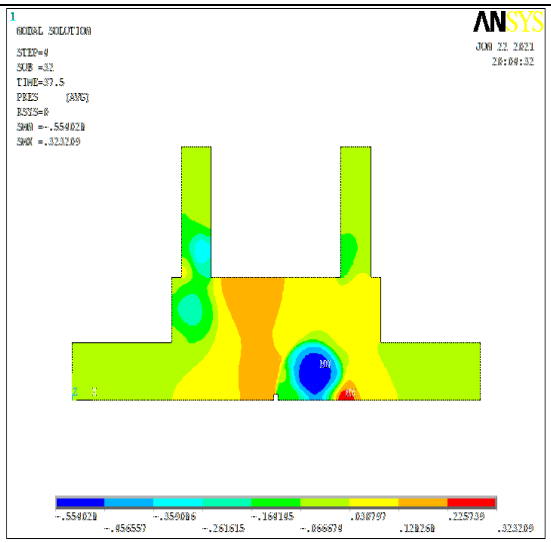
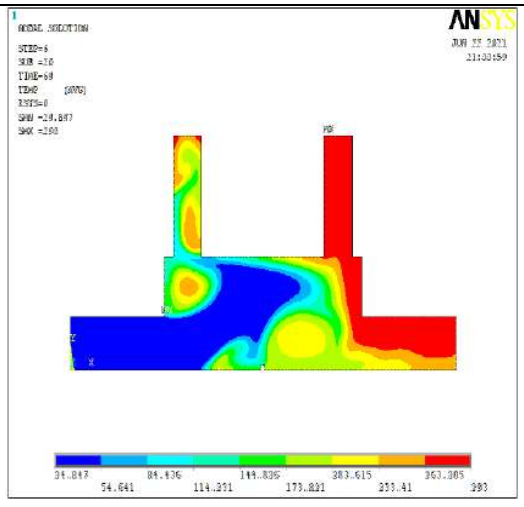
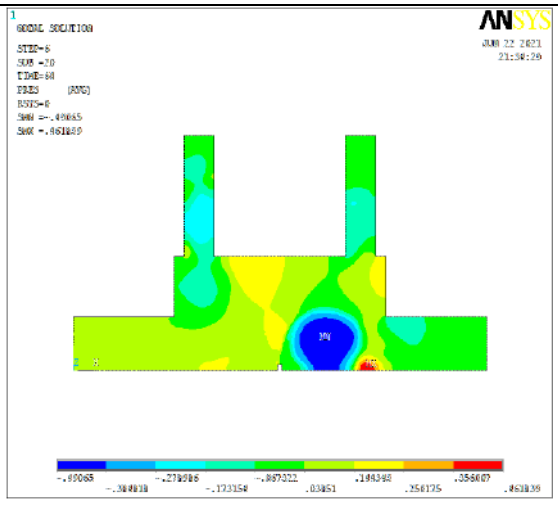


Figure IV.13 : représentation de maillage de cette cas

Tableau IV.8 : représentation de la dispersion de la température et pression dans le temps.

Temps	Température	Pression
4.5		

21.5		
37.5		
64		

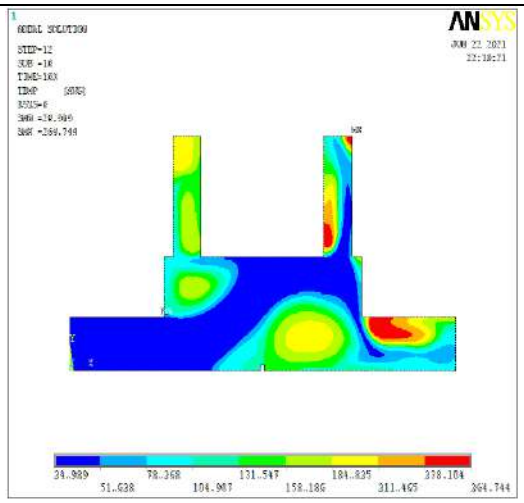
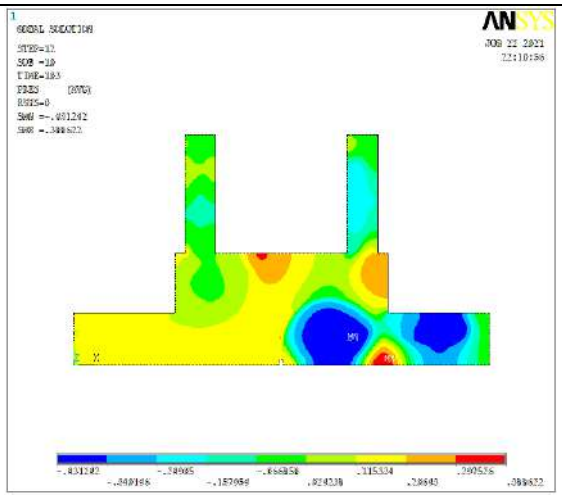
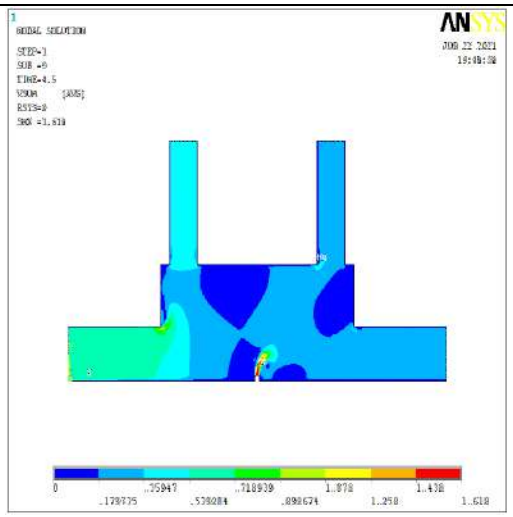
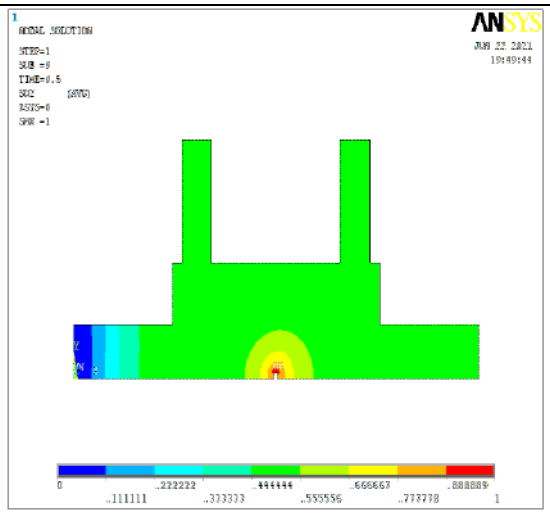
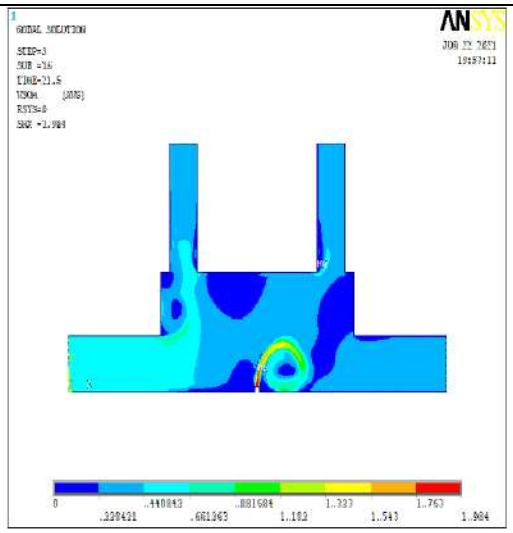
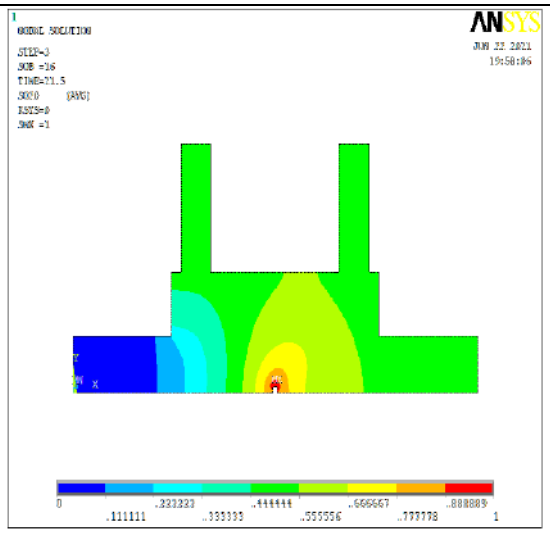
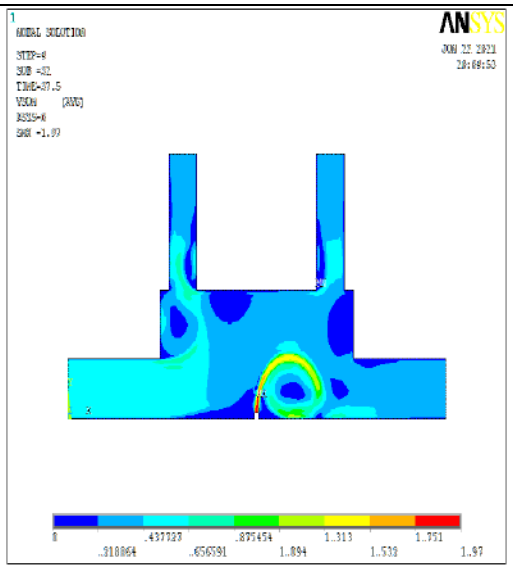
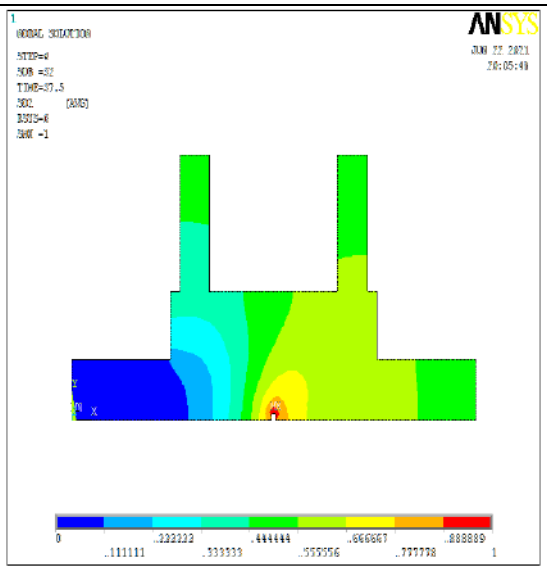
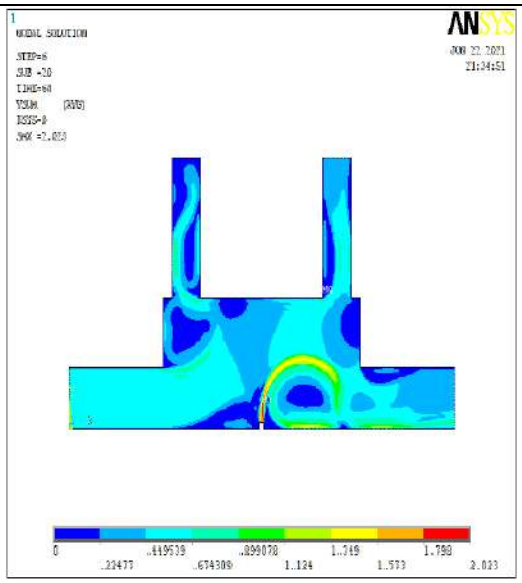
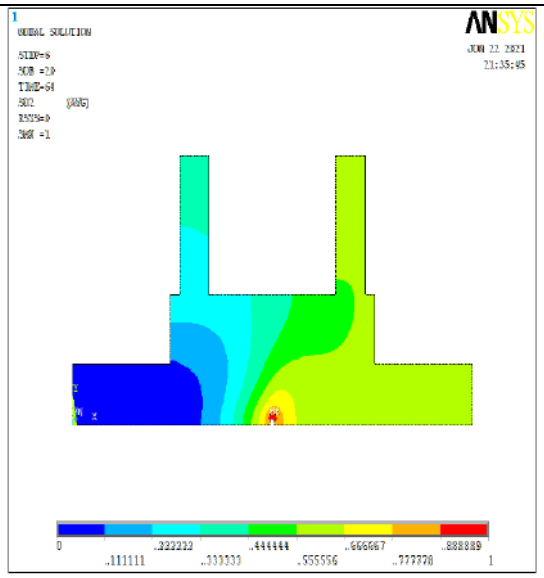
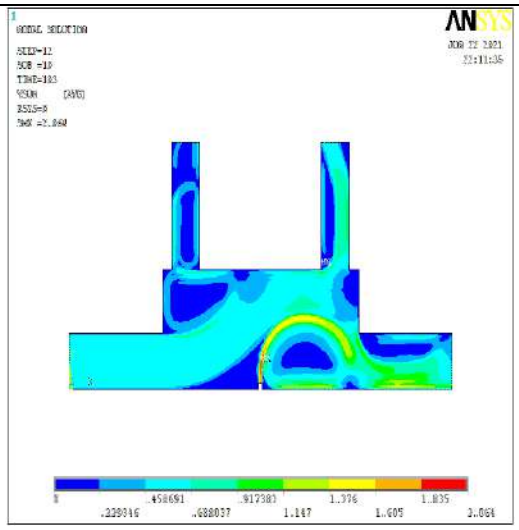
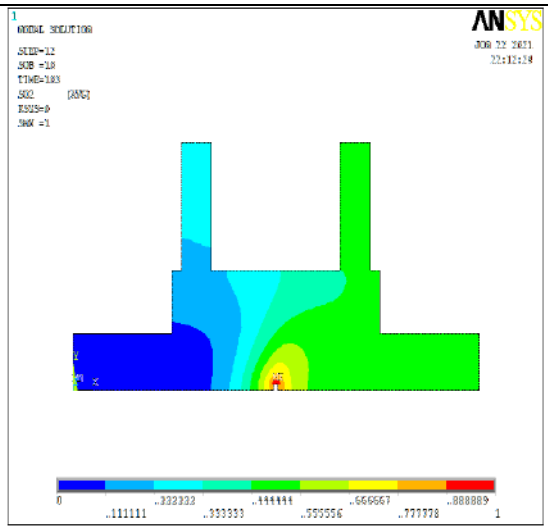
103		

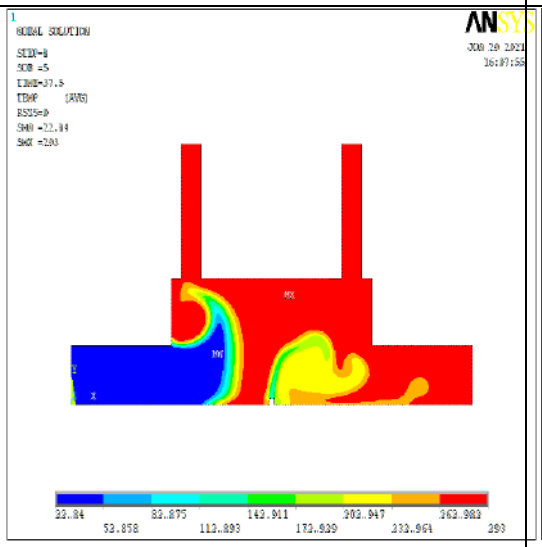
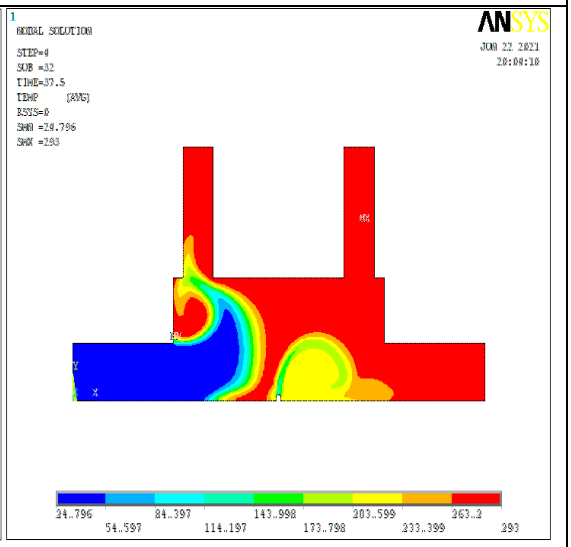
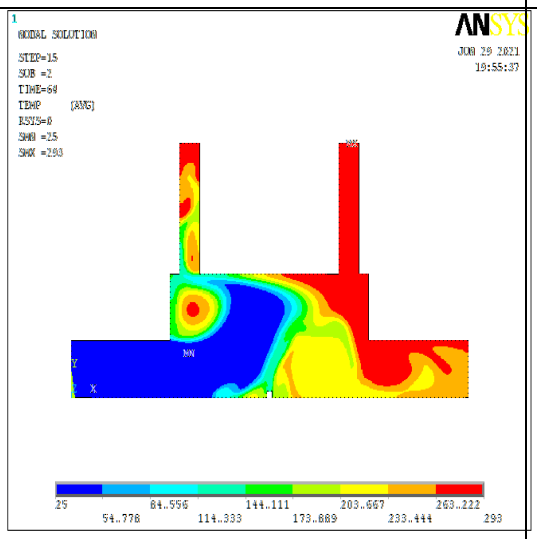
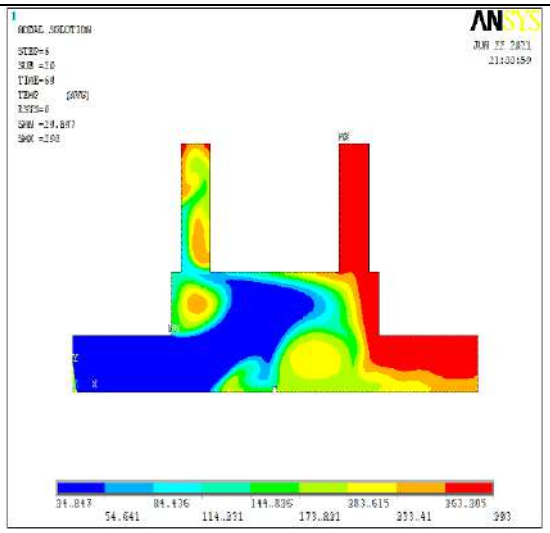
Tableau IV.9 : représentation de la dispersion de la vitesse et so2 dans le temps.

Temps	*vitesse*	*So2*
4.5		
21.5		

37.5		
64		
103		

IV.5.Comparaison les résultat:

Tableau IV.10 :représentation la température ou même temps en l'expérience 02 et l'effet de augmentation de diamètre de cheminée

Temps	L'expérience 02	L'effet de augmentation de diamètre
37.5		
64		

On augmente le diamètre de Cheminée (dernier expérience) nous observons l'évacuation idéal de la température et so2 et une augmentation de la ventilation et donc la diffusion d'oxygène par a port aux trois expérience précédentes

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence les différents systèmes d'écoulement dans portée en fonction du débit d'extraction, ainsi due de la perte de charge du réseau (dans les tunnels) sur les flux à l'intérieur des portails. Cela permet d'élargir la direction relevée de la station de métro et possibilité d'appliquer des itinéraires d'évacuation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le premier objectif de cette recherche était de comparer les points positifs sur la base de deux similitudes différentes bonnes similitudes des phénomènes physiques de frontière sont observés, tels que des changements de température dans les entrées, et une montée d'air chaud dans ces dernières au cours dès la première étape, des valeurs de débit critique similaires .

Ensuite, l'étude s'est concentrée sur l'analyse et la fluidité des différents facteurs d'influence, l'histoire de la disparition du phénomène de l'effet cheminée en déterminant les débits critiques notamment.

Cette approche, basée sur la situation dans laquelle l'effet de cheminée est primaire-La facilité, a permis de faire certaines observations du point de vue de l'analyse risques liés au problème de l'effet cheminée.une norme mondiale basée sur les débits critiques et une norme locale basée sur la vitesse de l'air le rôle de la pression dans le tunnel amont diminue ont été analysés en effet l'augmentation de la pression diminue dans ce tunnel permet d'augmenter pour déterminer la quantité d'air frais entrant par les entrées pour le même débit d'extraction et par conséquent, il est plus facile de contrer les effets de la cheminée en arrivant à la gare peut ainsi être identifié. Valeurs de débit et de vitesse elle reste dépendante des hypothèses faites, et des configurations testées.

Les Référence bibiographique

[1] Wang, J., J. Yuan, et al. (2018). "A model for predicting smoke back-layering length in tunnel fires with the combination of longitudinal ventilation and point extraction ventilation in the roof." Tunneling and Underground Space Technology **80**: 16-25.

[2] Salizzoni, P., M. Creyssels, et al. (2018). "Influence of source conditions and heat losses on the upwind back-layering flow in a longitudinally ventilated tunnel." International Journalof Heat and Mass Transfer**117**: 143-153.

[3] Meng, N., W. Yang, et al. (2018). "Experimental study on back layering length of thermal smoke flow in a longitudinally ventilated tunnel with blockage at upstream of fire source." Tunneling and Underground Space Technology **82**: 315-324.

[4] Zhang, X., X. Wu, et al. (2021). "Perspectives of big experimental database and artificial intelligence in tunnel fire research." Tunneling and Underground Space Technology**108**: 103691.

[5] Li, Y. Z., B. Lei, et al. (2010). "Study of critical velocity and back layering length in longitudinally ventilated tunnel fires." Fire safety journal**45**(6-8): 361-370.

[6] Zhao, S., F. Liu, et al. (2018). "A numerical study on smoke movement in a metro tunnel with a non-axisymmetric cross-section." Tunnelling and Underground Space Technology**73**: 187-202.

[7] Li, Y. Z. and H. Ingason (2018). "Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels." Tunneling and Underground Space Technology**81**: 568-589.

[8] E. BLANCHARD, P. BOULET, S. DESANGHERE, E. C. ET AL. Experimental and numerical study of fire in a midscale test tunnel. Fire Safety Journal, Vol. 47 :pp. 18–31, 2001.

[9] H. I**NGASON**, Y. Z. L**I**. *Model scale tunnel fire tests with longitudinal ventilation.* Fire Safety Journal, Vol. 45:pp. 371-384, 2010.

[10] P. DEBERTEIX. Etude thermo aéraulique des écoulements en conduite ventilée en présence d'une source de chaleur application à la propagation des fumées d'incendie en tunnel. These de doctorat, Université de Poitiers, Mai 2000

[11] O. VAUQUELIN. Experimental simulations of fire-induced smoke control in tunnels using an "air-helium reduced scale model" : Principle and limitations and results and future. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 23 :pp. 171–178, 2007..

[12] D. RUSCH, L. BLUM, A. MOSER, T. ROESGEN. Turbulence model for fire simulation by CFD and experimental investigation of a hot jet in cross flow. Fire Safety Journal, Vol. 43 :pp. 429–441, 2008.

[13] A. O. M. MAHMOUD, J. BOUSLIMI, R. B. MAAD. Experimental study of the effects ofthermal plume entrainment mode on the flow structure : Application to fire. Fire Safety Journal, Vol. 44 :pp. 475–486, 2009.

[14] T. NAFFOUTI, J. ZINOUBI, R. B. MAAD. Experimental characterization of a free thermalplume and in interaction with its material environment. Applied Thermal Engineering,Vol. 30 :pp. 1632–1643, 2010.

[15] K. ICHIMIYA, T. ABE. Impingement heat transfer of thermal plume on the upper wall. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 46 :pp. 3521–3528, 2003.

[16]C. LUCCHESI. Etude du mouvement d'un fluide de faible masse volumique entre deuxcompartiments reliés par une ouverture de type porte : Application à la propagation de lafumée d'incendie. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille, Janvier 2009.

[17] A. O. NGONDIEP. Etude expérimentale des régimes de ventilation générés par une sourcede gaz chaud dans une enceinte ventilée. Thèse de doctorat, Université de Rouen, Novembre2012.

[18] N. YUCEL, M. I. BERBEROGLU, S. KARAASLAN, N. DINLER. Experimental and numericalsimulation of fire in a scaled underground station. World Académie of Scienceand Engineering and Technology, Vol. 40 :pp. 309–314, 2008.

[19] E. RECKER, W. BOSSCHAERTS, R. WAGEMAKERS, P. H. ET AL. Experimental studyof a round jet in cross-flow at low momentum ratio. 15th Int. Symp on Applications of laser techniques to fluid Mechanics, 2010.

[20] J. BLAISE. Influence de la géométrie d'une source thermique sur le développement du panache.Thèse de doctorat, Université de Nancy, 2008.

[21] J. ZINOUBI, R. B. MAAD, A. BELGHITH. Experimental study of the resulting flow ofplume-thermo siphon interaction: application to chimney problems. Applied Thermal Engineering, Vol. 25:pp. 533–544, 2005.

[22] W. K. CHOW. Experimental studies on fire engineering systems for non-industrial workplaces.2006.

[23] F. CHEN, S. GUO, H. CHUAY, S. CHIEN. Smoke control of fires in subway stations. Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Vol. 16 :pp. 349 – 368, 2003.

[24] korti Mohammed Chokri ; (simulation numérique des champs dynamique et thermique durant le moulage par injection à haute pression des métaux). Diplôme de magister université Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2011-2012

[25] B. E. LAUNDER, D, B. SPALDING, the numerical computation of turbulent transport,

Adv. Geophysics, vo118A, (1974).

[26] Chapitre 2 : Modèle D'Etalement Et Traitement Numérique, Discrétisation la forme

[27] Paul FERREY, Modèles aux tensions de REYNOLDS avec prise en compte de l'intermittence de frontière, thèse pour l'obtention du Grade de docteur de l'université de POITIERS.

[28] ITYM YOUCEF.modélisation du comportement thermomécanique d'un pipeline influence des jonctions. MAGISTERE en génie mécanique Constantine (2010).

[29] Présentée par Melle KAOUANE Malika ; mémoire de magister thème : analyse des contraintes mécaniques et de la fissuration des éléments en béton armé sous l'effet thérmo-mécanique ; année 2010/2011

[30] présentés par HANTZ Mathieu (Elève ingénieur, INSA de Strasbourg, Spécialité Génie Civil), mémoire de fin d'étude, thème : Etude de l'optimisation du renforcement par des fibres de carbones des dalles en béton armé munies de trémies, en utilisant l'optimisation topologique ; Université Fédérale d'Uberlândia, Brésil

[31] présentés par MELOUKI Omar et MESBAH Abderraouf ; mémoire de master thème : Etude numérique comparative de l'influence entre des tubes carré et cylindrique d'un faisceau aligné, sur les performances thermique d'un échangeur tube et calandre ; année 2013/2014

[32] présentés par ALLOUNE hamza et BELKACEMI zohir ; mémoire de master thème : étude numérique de l'effet des accès dans station de métropolitain lors d'un incendie ; année 2018/2019