



Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم المهندسة الميكانيكية  
Département Génie Mécanique

N° d'ordre : M...../GM/2021

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

## Thème

**ETUDE NUMERIQUE DE LA PROPOGATION D'UN POLLUANT  
DANS UN LOCAL AVEC VENTILATION**

Présenté par :

❖ M<sup>elle</sup> HASSAINE Soumia

❖ M<sup>elle</sup> KRALIFA Meriem

❖ *Soutenu le 11/07/2021 devant le jury composé de MRS:*

Président Pr. HOUAT Samir Université de Mostaganem UMAB

Examineur Dr. OULD SAID Belkacem Université de Mostaganem UMAB

Encadreur Pr. RETIEL Nouredine Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2020 / 2021

## *Remerciements*

*La réalisation de ce mémoire a été rendue possible grâce au concours de plusieurs personnes, à qui, nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance notamment notre encadreur Mr RETIEL Noureddine pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui contribué à alimenter notre réflexion sur le sujet.*

*Nous tenons à remercier particulièrement Mr SENOUCI Moussa qui nous a fourni les outils nécessaires pour la réussite de nos travaux.*

*Des remerciements sont adressés à Mr OULD SAID Belkacem qui nous a conseillé et aidé dans nos travaux de confection du mémoire.*

*Nous voudrions aussi remercier les professeurs qui nous ont enseigné et fait découvrir notre spécialité, objet aujourd'hui, de notre mémoire de fin d'étude.*

*Enfin, nous dédions ce Mémoire à nos très chers parents, qui nous ont encouragés et soutenu par leurs prières.*

*A nos sœurs, frères et amis*

## Résumé

À travers ce travail on a étudié numériquement les différentes positions d'aération dans local pollué en recherchant une meilleure position des bouches d'aération et d'extraction qui permet d'obtenir un air pur et neuf dans un local.

afin d'obtenir des résultats à l'aide de La simulation numérique en code de calcul CFD (Computational Fluid Dynamique ) en régime instationnaire nous essayerons de nous familiariser avec le préprocesseur gambit pour la construction d'une géométrie avec génération de maillage et incorporation des conditions aux limites, ensuite nous passerons au code de simulation fluent proprement dit, nous avons mis au point un modèle numérique basé sur la méthode des volumes finis, et on a montré l'importance de la ventilation à travers des propositions dans différentes positions. Nous avons pu localiser les endroits où le monoxyde de carbone se concentre en fonction des positions des jets d'aération et nous permet de proposer les meilleures positions des bouches d'aération pour le but d'améliorer le confort des occupants et obtenir un environnement intérieur sain et vivable.

### **Mot clé :**

Contaminant, ventilation, convection massique, bouche d'aération et d'extraction.

## **Abstract**

Through this work, we have studied numerically the different ventilation positions in polluted premises by looking for a better position of the ventilation and extraction openings which makes it possible to obtain clean and fresh air in a room.

In order to obtain results using Numerical simulation in CFD (Computational Fluid Dynamics) calculation code in unsteady state we will try to familiarize ourselves with the gambit preprocessor for the construction of a geometry with generation of mesh and incorporation of boundary conditions, then we will move on to the fluent simulation code itself, we have developed a numerical model based on the finite volume method, and we have shown the importance of ventilation through propositions in different positions. We were able to locate the places where the carbon monoxide is concentrated according to the positions of the aeration jets and allows us to propose the best positions of the air vents for the purpose of improving the comfort of the occupants and obtaining an indoor environment. Healthy and livable.

### **Keyword :**

Contaminant, ventilation, mass convection, air vent and extractor.

## ملخص :

من خلال هذا العمل، درسنا عددًا أوضاع التهوية المختلفة في الأماكن الملوثة من خلال البحث عن موقع أفضل لفتحات التهوية والاستخراج مما يجعل من الممكن الحصول على هواء نقي ونقي في الغرفة.

من أجل الحصول على نتائج باستخدام المحاكاة العددية في كود حساب CFD (ديناميكيات الموائع الحسابية) في حالة غير مستقرة ، سنحاول التعرف على معالج المناورة المسبق لبناء هندسة مع شروط إنشاء الشبكة وحدود التأسيس ، ثم ننتقل إلى رمز المحاكاة بطلاقة نفسه ، لقد طورنا نموذجًا عدديًا يعتمد على طريقة الحجم المحدود ، وأظهرنا أهمية التهوية من خلال مقترحات في مواقع مختلفة تمكنا من تحديد الأماكن التي يتركز فيها أول أكسيد الكربون وفقًا لمواقع نفاثات التهوية ويسمح لنا باقتراح أفضل مواضع فتحات التهوية بغرض تحسين راحة الناس والحصول على بيئة داخلية صحية. وصالحة للعيش.

## كلمات مفتاحية:

الملوثات والتهوية والحمل الحراري الشامل وفتحة الهواء والمستخرج.

# Table des matières

## 1 INTRODUCTION

1.1 Étude de fond	1
1.2 Particules par rapport à la santé	1
1.3 Énoncé du problème	1
1.4 Objectifs de l'étude	2
1.5 Importance de l'étude	2
1.6 Limites de l'étude	2

## 2 GENERALITES

2.1 Condition de confort	3
2.2 Pollution de l'air intérieur	3
2.3 Qualité de l'air intérieur	4
2.4 Ventilation	4
2.4.1 Ventilation naturel	5
2.4.2 Ventilation mécanique	5
2.4.2.1 Ventilation mécanique à simple flux	5
2.4.2.2 Ventilation mécanique à double flux	6
2.5 Confort thermique	9
2.6 Monoxyde de carbone (CO)	10
2.7 Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	11
2.8 Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	12
2.9 Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	12

## 3. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE 14

## 4. MODELISATION DE LA CONVECTION MASSIQUE EN CAVITE RECTANGULAIRE

4.1. Introduction	19
4.2. Transfert de masse par diffusion moléculaire	19
4.3. Equations de la diffusion de masse	20
4.4. Les équations du mouvement	20
4.4.1. Les équations de Navier-Stokes en coordonnées cartésiennes	20
4.4.2 Discrétisation des équations gouvernantes	20
4.4.3 Hypothèses simplificatrices	22

4.4.4. Les conditions aux limites	23
4.5. Méthode numérique de résolution	23
4.5.1. Résolution numérique par la méthode des volumes finis	24
4.5.2. Le maillage	24
4.5.2.1 Maillage sous Gambit	24
4.5.2.2 Différents types de maillage	24
4.5.3 Le code fluent	25
4.5.3.1 choix des paramètres de fluent	25
4.5.3.1.1 Interface du code fluent	25
4.5.3.1.2 Algorithme de résolution	26
4.5.4. Les conditions initiales	26
4.5.5. Les conditions aux limites	26
4.5.6. Validation	27
4.6. Résultats obtenus en convection massique	30
4.7. Etude de la convection massique en régime instationnaire	39
Conclusion générale	42

## **BIBLIOGRAPHIE**

# Liste des figures

## Chapitre 02 :Généralités

<b>Figure2.1</b> :Principaux polluants qui influencent la qualité de l'air [3].....	04
<b>Figure2.2</b> : Principe de fonctionnement d'une VMC à simple flux.....	06
<b>Figure2.3</b> :Représentation de la VMC double flux [7].....	07
<b>Figure2.4</b> : ventilation générale de dilution.....	08
<b>Figure2.5</b> : distribution non homogène de l'air de renouvellement.....	09

## Chapitre 04 :Modélisation de la convection massique dans une cavité rectangulaire

<b>Figure 4.1</b> :Diagramme schématique dans une pièce bidimensionnel de 4.0*3.0 m.....	21
<b>Figure4.2</b> : interface du code Fluent.....	24
<b>Figure4.3</b> :Lignes de courant pour $Re = 500$ et $W = 0,25$ pour neuf positions différentes de l'orifice de sortie.....	26
<b>Figure4.4</b> : Résultat des lignes de courant de la simulation pour (validation).....	27

## Liste des tableaux

### Chapitre 02 :Généralités

**Tableau 2.1:** Stades de gravité de l'intoxication au CO.....10

### Chapitre 04 :Modélisation de la convection massique dans une cavité rectangulaire

**Tableau 4.1:** les différents modèles utilisés sous solveur fluent.....24

**Tableau 4.2:** les paramètres des conditions aux limites.....25

## Nomenclature

C	Concentration	[ kmol/m <sup>3</sup> ]
D	Diffusivité massique	[ m <sup>2</sup> /s ]
L	Largeur de la cavité rectangulaire	[ m ]
W	Largeur d'orifice d'entrée	[ m ]
M	Masse	
$\dot{m}$	La densité du flux massique	[kg/s m <sup>2</sup> ]
t	temps	[ s ]
V <sub>a</sub>	Vitesse d'aération	[ m/s ]
V <sub>c</sub>	Vitesse de sortie du contaminant	[ m/s ]
Re	Nombre de Reynolds	
Sc	Nombre de Schmidt	

## Symboles grecs

$\alpha$	Diffusivité thermique	[m <sup>2</sup> /s]
$\nu$	Viscosité cinématique	[w/ m.k]
$\mu$	Viscosité dynamique	[kg/ m.s]
$\rho$	Masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	Conductivité thermique	[W/m.k]

# **CHAPITRE I**

## **INTRODUCTION**

# INTRODUCTION

---

## **1- Introduction :**

### **1.1- Étude de fond :**

Le thème du présent travail vise à étudier la diffusion du contaminant dans un local ventilé, et à préciser l'effet de l'intensité du jet du contaminant et du jet de l'aération sur la distribution de la concentration du contaminant à l'aide d'un code de calcul (Computational Fluid Dynamic) CFD. Pour cela, on a étudié numériquement la simulation de l'écoulement en convection massique laminaire dans une cavité rectangulaire ventilé.

La ventilation est un mécanisme de renouvellement de l'air pollué par un air sain, pour maintenir un environnement intérieur vivable et confortable. Les systèmes de ventilation doivent satisfaire des exigences vivables, de confort, d'hygiène, du respect de l'environnement et d'économie d'énergie. Elle est au service de ces trois fonctions principales, soit une bonne qualité de l'air intérieur.

### **1.2 Particules par rapport à la santé :**

Comme il est connu, le monoxyde de carbone est un gaz asphyxiant mortel, il a un effet toxique sur la santé humaine,

Ce gaz provoque l'intoxication en se fixant sur les globules rouges par la respiration via les poumons, il empêche les globules rouges de véhiculer correctement l'oxygène dans l'organisme notamment le cerveau, ce qui conduit à l'étouffement.

Les premiers symptômes les plus fréquents d'une intoxication au CO sont des asthénies, des céphalées, des nausées et vomissements.

Dans le cas où la concentration est élevée il peut entraîner la mort immédiate.

Sachant que le CO est responsable de 100 à 200 décès par an en Algérie et plus de 2000 personnes ont été secourues d'une mort certaine.

### **1.3 Énoncé du problème :**

Dans notre travail, le problème posé est la propagation de polluants dans un espace confiné ce qui représente un danger imminent pour toute vie humaine.

Cette dangerosité se caractérise par le manque d'aération dans un local chauffé par la combustion au gaz notamment.

## **1.4 Objectif du travail :**

L'objectif principal de ce travail est d'apporter de l'air neuf et sain dans un local en le renouvelant par l'utilisation de la ventilation, et évacuer les polluants émis de manière à assurer à l'être humain une atmosphère non toxique ou dangereuse pour la santé.

De cette façon, nous étudions la différente configuration géométrique qui peuvent se présenter et choisissons la meilleure solution qui convient au cadre de vie humaine où cette position des bouches d'aération et d'extraction permet un séjour minimal du polluant dans un local et permet un taux de concentration faible du polluant, avec cela, nous avons atteint notre objectif principal en choisissant un cas où presque la totalité de la cavité est de l'air pur.

## **1.5 Importance de l'étude :**

L'importance de ce travail est déterminée par l'utilisation de la ventilation en évacuant les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, pour obtenir un environnement intérieur sain et vivable.

Cette étude avec les différentes recherches entreprises dans le cadre de l'élaboration de ce mémoire nous amène à beaucoup plus avoir recours au numérique notamment le code de simulation CFD afin d'obtenir des résultats satisfaisants.

## **1.6 Limites de l'étude :**

Par ailleurs, cette étude est limitée par l'utilisation de la simulation en 2ddp (2 Dimensions Double Précision) pour des difficultés de simulation en 3D dans les logiciels de CFD, on est limité de négliger la profondeur (troisième dimension) et réaliser seulement une simulation en 2ddp.

# **CHAPITRE II**

## **GENERALITES**

## 2 GENERALITES :

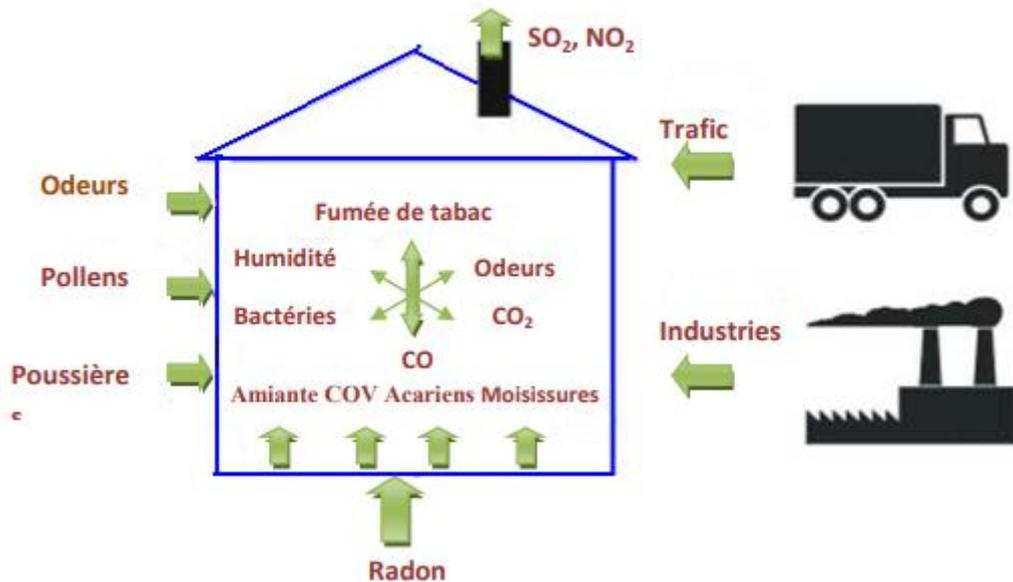
### 2.1 Condition de confort :

Pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut paramétrer une température de consigne suffisante. On a l'habitude de dire que la température ambiante de confort se situe entre 19°C et 20°C. Attention à ne pas surchauffer car passer de 20°C à 21°C entraîne une surconsommation d'énergie d'environ 7%. La nuit et en période d'inoccupation, cette température pourra être abaissée de 2 à 3°C grâce à la régulation du chauffage. [1]

### 2.2 Pollution de l'air intérieur :

Depuis quelques années, un nombre croissant de scientifiques ont montré que l'air à l'intérieur des maisons, des bâtiments pouvait être fortement pollué que ce soit dans un environnement industriel ou non. D'autres études indiquent que les gens passent 90 % de leurs temps à l'intérieur de bâtiments. Donc, pour beaucoup de personnes, les risques pour leur santé seront plus grands à l'intérieur qu'à l'extérieur. De plus, les personnes exposées à la pollution intérieure pendant de longues périodes sont souvent les plus sensibles aux effets de cette pollution comme les enfants, les personnes âgées, les personnes souffrant de maladies respiratoires et cardio-vasculaires. [2]

Les sources de pollution intérieure qui produisent des gaz ou des particules dans l'air sont les premières causes des problèmes de qualité de l'air intérieur. Une ventilation inadéquate peut augmenter ce niveau de pollution si elle n'est pas capable à la fois de diluer la pollution intérieure et de renouveler l'air intérieur. Des températures et/ou des humidités élevées peuvent également augmenter les concentrations de certains polluants. [1]



**Figure2.1** : Principaux polluants qui influencent la qualité de l'air [3]

### 2.3. Qualité de l'air intérieur :

Les voies respiratoires sont quotidiennement soumises à des agresseurs biologiques et chimiques présents dans l'air ambiant et dont certains ont un potentiel allergène. La pathogénie de ces différents agents est non seulement liée à l'intensité de l'exposition, mais également à la résistance de l'hôte. De façon logique, les affections respiratoires viennent en tête de liste des problèmes de santé associés à une mauvaise qualité de l'air. [4]

La qualité de l'air peut être étudiée sous deux volets distincts, l'air intérieur et l'air extérieur. Même si les impacts des niveaux actuels de polluants dans l'air extérieur continuent à susciter des inquiétudes, on s'interroge de plus en plus sur les effets des altérations de l'air intérieur sur la santé. [5]

### 2.4. Ventilation :

C'est le renouvellement général d'air dans un local par entrée d'air neuf extérieur et sortie d'air intérieur vicié, grâce à un dispositif naturel ou mécanique, lequel assure en permanence des débits d'air minimaux. Une ventilation insuffisante est l'une des causes principales de la mauvaise qualité de l'air intérieur. [6]

### 2.4.1 Ventilation naturelle :

La ventilation naturelle est un élément clé d'une architecture traditionnelle, Elle permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé.

Il existe plusieurs façons de renouveler l'air : au moyen d'équipements spéciaux (ventilation), par l'ouverture de portes ou fenêtres et par les interstices et les fentes (infiltration/exfiltration).

Les moyens de mettre « naturellement » l'air en mouvement sont connus depuis longtemps, ces moteurs sont :

- Le tirage thermique (gradient des masses volumiques en fonction de la température et de l'altitude).
- La pression éolienne (effet du vent).

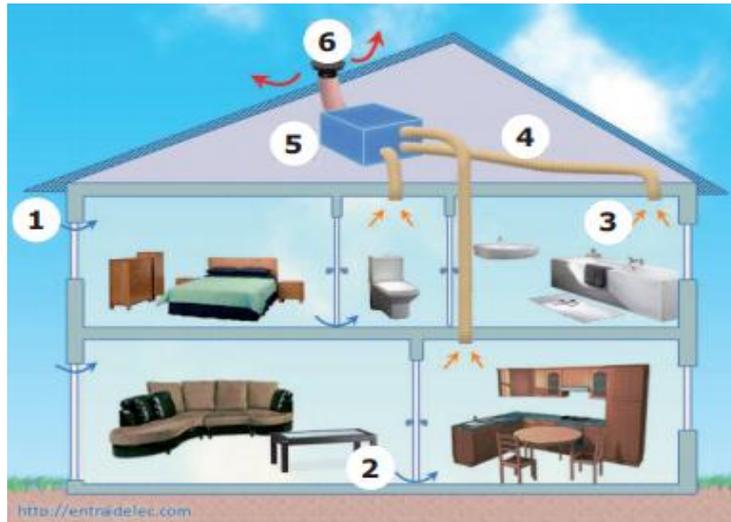
### 2.4.2 Ventilation mécanique :

La ventilation mécanique consiste à recourir à des systèmes mécaniques pour apporter et extraire l'air des bâtiments. L'air frais est aspiré par des ventilateurs électriques et amené dans les locaux secs au moyen de conduits et de bouches d'insufflation.

Les différents systèmes de ventilation mécanique sont les suivants [7] :

#### 2.4.2.1 La ventilation mécanique à simple flux :

L'air vicié est extrait des pièces dites humides (salle de bains, cuisine, etc.) via des bouches reliées à un ventilateur. Les entrées d'air peuvent être soit de type auto réglable permettant un débit d'air constant quelles que soient les conditions extérieures (vent, pluie) et intérieures, soit de type hygroréglable modulant automatiquement les débits d'air en fonction du taux d'humidité de l'air intérieur (ajustement de la section de passage en fonction du capteur d'humidité). Les passages de transfert se font généralement par le dessous des portes (détalonnage).



**Figure2.2:** Principe de fonctionnement d'une VMC à simple flux

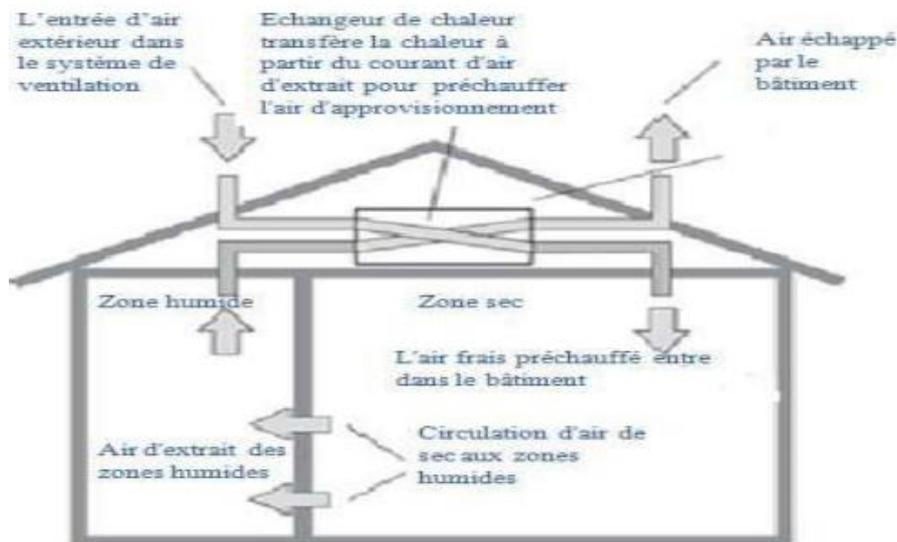
- 1-Entrée d'air auto réglable ou hygroréglable
- 2- Détalonnage des portes
- 3- Bouches d'extraction
- 4- Conduits d'extraction
- 5- Extracteur hygroréglable (ventilateur)
- 6- Rejet d'air

#### 2.4.2.2 La ventilation mécanique à double flux :

La ventilation mécanique contrôlée double flux combine les systèmes d'insufflation et d'extraction mécaniques. Elle est composée de deux ventilateurs indépendants avec deux réseaux de conduits séparés, l'un pour insuffler de l'air neuf dans les pièces principales et l'autre pour extraire l'air vicié dans les pièces de service.

- **Avantage :** Faible consommation électrique (si correctement installé), Bruit de fond léger (si correctement installé), Rendement élevé (supérieur à 80 % voire 100% avec un échangeur enthalpique : système de récupération de l'humidité de l'air sortant).

- **Inconvénients** : Nettoyage régulier des bouches d'extraction (une fois/trimestre. Remplacer et nettoyer les filtres une fois par an, Faire vérifier le système tous les 3 ans (mesure du tirage et de la dépression, vérification du bloc-moteur, ramonage des conduits, vérifier le ventilateur).



**Figure2.3** : Représentation de la VMC double flux [7]

Dans l'industrie, deux techniques de ventilation sont principalement utilisées pour assainir le milieu de travail ; la ventilation locale par captage à la source et la ventilation générale de dilution [8].

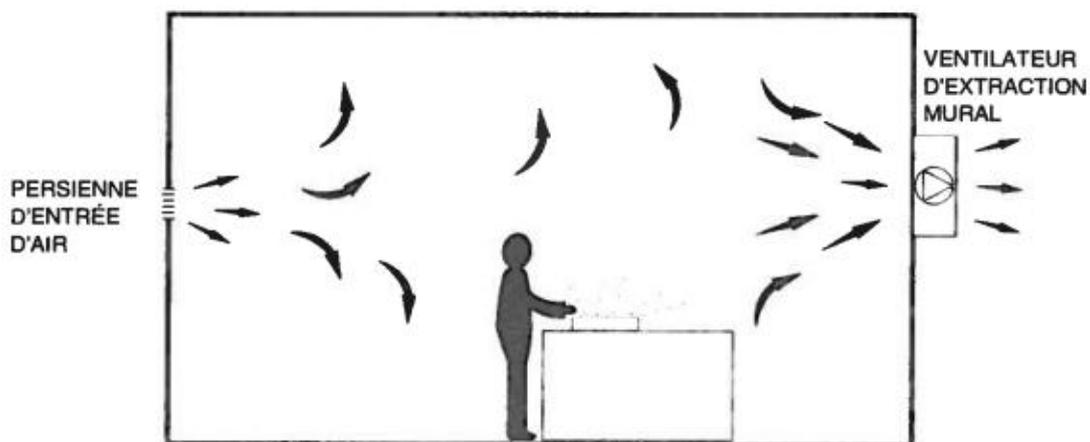
- **La ventilation locale** (consiste à placer un capteur près de la source polluante pour empêcher le polluant d'atteindre la zone respiratoire du travailleur et en limiter la dispersion dans l'espace de travail. La ventilation locale par captage à la source est recommandée pour la majorité des applications industrielles, particulièrement pour celles mettant en cause des polluants ayant une valeur limite d'exposition basse ou lorsque les conditions aérauliques offrent un faible potentiel de dilution à proximité du travailleur [9].

- La technique de ventilation générale de dilution (figures 2.4 et 2.5) consiste à introduire et à extraire l'air d'un local afin de maintenir la concentration du polluant sous la valeur cible d'exposition. Cette technique permet de contrôler de façon satisfaisante les polluants de faible toxicité ou présents en faibles concentrations [8]. Elle permet aussi, en ambiance chaude, d'éviter d'exposer les travailleurs à la contrainte thermique. Bien que la ventilation locale par captage à la source doive être privilégiée, il peut être justifié, notamment en présence de sources diffuses de polluants, de recourir à la ventilation de dilution. Les critères qui suivent permettent de déterminer si cette technique d'assainissement peut assurer le contrôle des polluants :

- La toxicité des polluants est faible
- La quantité de polluants émis peut être contrôlée par un débit d'air raisonnable
- La distance entre la source émettrice et les travailleurs est telle que ces derniers ne sont pas exposés à des concentrations dépassant les normes permises
- Le débit d'émission des polluants est relativement uniforme

Certaines règles doivent toutefois guider la conception de ce type de système pour en assurer l'efficacité :

- Les bouches d'évacuation sont localisées le plus près possible de la source polluante
- Les bouches de soufflage d'air neuf sont réparties de façon à prévenir la formation de poche stagnantes d'air vicié .
- Les bouches de soufflage et d'aspiration sont placées de façon à ce que l'air s'écoule lentement des zones propres vers les zones polluées [9]



**Figure 2.4** : ventilation générale de dilution.

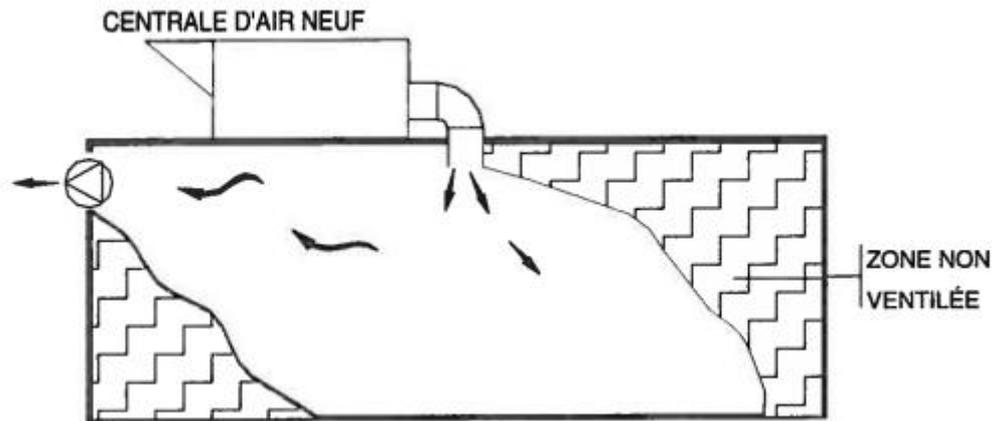


Figure2.5: Distribution non homogène de l'air de renouvellement

## 2.5 Confort thermique :

Le confort thermique est un état de satisfaction du corps par rapport de l'environnement thermique, il s'agit d'une notion principalement subjective. C'est critères différents selon l'âge et le sexe, des caractéristiques individuelles et du travail effectué. Donc le confort thermique dépend des éléments ci-après désignés :

- Le métabolisme qui est un ensemble des réactions biochimique se produisent au sein de l'organisme et assure le maintien d'une température proche de 36.7, en cas d'activité en surplus on parle de métabolisme de travail qui s'associe au métabolisme de base.
- L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $T_a$  et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- La vitesse de l'air ( $V_a$ ), qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.
- La température ambiante de l'air  $T_a$ .
- La température moyenne des parois  $T_p$ . [10]

## 2.6 Monoxyde de carbone (CO) :

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz naturel présent physiologiquement dans l'organisme et dans l'atmosphère. Il a un rôle physiologique pour l'être humain à très faible concentration mais devient toxique, potentiellement mortel, à plus forte concentration. Il est inodore, invisible, insipide et non irritant, ce qui lui vaut le surnom de "tueur silencieux". Plus léger que l'air, il est volatile et très diffusible, pénétrant ainsi l'organisme en passant la barrière alvéole capillaire lors de son inhalation. La quantité inhalée sera d'autant plus importante qu'un effort est fait (hyperventilation), que la concentration de CO est importante (confinement) et que l'exposition est prolongée. Toute combustion incomplète, par défaut d'oxygène (O<sub>2</sub>), de matières carbonées produit du CO.

L'institut de veille sanitaire propose l'échelle de gravité suivante des symptômes :

Gravité	Symptômes
0	Pas de symptômes
1	Inconfort, fatigue, céphalées
2	Nausées, vomissements, vertiges, malaise
3	Perte de connaissance, faiblesse musculaire, palpitations, tachycardie
4	Convulsions, coma, déficit localisé, OAP, angor, infarctus, choc, acidose métabolique

**Tableau2.1:** Stades de gravité de l'intoxication au CO

**Sources du CO:**

L'intoxication au CO peut être provoquée par :

- Un problème de ventilation (apport insuffisant d'air frais) .
- Une mauvaise installation, un mauvais fonctionnement ou un manque d'entretien des appareils de chauffage.
- Un problème de cheminée (évacuation insuffisante des gaz de combustion).
- Les appareils de chauffage mobiles qui ne sont pas raccordés à une cheminée, comme par exemple les poêles à pétrole, les foyers au bioéthanol ou les braises d'un barbecue installé à l'intérieur peuvent libérer de plus ou moins grandes quantités de CO.
- Les gaz d'échappement de véhicules ou de machines à moteur fonctionnant à l'essence contiennent également du CO et peuvent provoquer une intoxication s'ils se dégagent dans un espace clos comme un garage par exemple.

**Traitement :**

La base du traitement est d'éliminer l'exposition aux sources de CO (aération) Site, si possible, arrêter la source de CO et évacuer de la zone contaminée Patients...), prendre des mesures préventives pour éviter les accidents impliquant les secouristes. L'O<sub>2</sub> pur ne peut pas seulement traiter l'intoxication au monoxyde de carbone Il détoxifie également les tissus. Utiliser un masque à haute concentration (10 L/min), Doit être prescrit pendant au moins 12 heures et commencer immédiatement après que le patient a reçu le traitement Empoisonnement. Les formes les plus graves (perte de connaissance, coma, convulsions, Atteinte cardiaque, femmes enceintes) ont besoin d'une oxygénothérapie hyperbare (Suggestion soutenue par la Haute Autorité de Santé). [11]

**2.7 Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) :**

Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique est un constituant naturel de l'atmosphère terrestre où il est présent à une concentration variante entre 0,027 % et 0,036 %. Il provient des combustions, des émanations volcaniques et des processus de fermentation/putréfaction, par exemple celle des eaux résiduelles (égouts, puits). Le dioxyde de carbone est aussi un produit terminal du métabolisme cellulaire aérobie, chez l'homme ainsi que chez la plupart

des espèces animales [12]. Bien que sa toxicité ait été reconnue dès 1838, des intoxications aiguës sont encore régulièrement rapportées, essentiellement en milieu professionnel dans les secteurs où le gaz est mis en œuvre (industrie agroalimentaire).

Est un gaz incolore et inodore, chimiquement stable, ininflammable, plus lourd que l'air (densité : 1,5). Comprimé sous une pression de 58 bars, il peut être stocké sous forme liquéfiée [13].

## 2.8 Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) :

Les centrales thermiques, la circulation automobile, le chauffage en général, y compris le chauffage au bois, et certaines activités industrielles font appel à la combustion à haute température. Ce type de combustion produit une réaction entre une molécule d'azote et une molécule d'oxygène, entraînant l'émission de monoxyde d'azote (NO) dans l'air ambiant. Dans l'atmosphère, le NO est transformé relativement rapidement en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

Les émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) dans l'air ambiant jouent un rôle important dans la formation de l'ozone, l'un des principaux constituants du smog estival, et dans la formation des précipitations acides. Sur le plan de la santé, le NO<sub>2</sub> est un gaz irritant qui pénètre profondément dans les voies respiratoires et qui peut entraîner, à fortes concentrations, des altérations de la fonction pulmonaire [14]

## 2.9 Dioxyde de soufre(SO<sub>2</sub>) :

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est un gaz qui est fabriqué à partir des minerais soufrés, de la combustion du soufre, ou dans l'industrie pétrolière. Il est utilisé dans la synthèse d'acide sulfurique, du dioxyde de chlore, dans les industries pétrolières et dans la synthèse des sulfites (traitement du vin). La principale source d'exposition est anthropique (combustibles fossiles, raffineries) mais le dioxyde de soufre est également émis lors des feux de forêts, et des éruptions volcaniques.

### Origine :

Le dioxyde de soufre résulte essentiellement de la combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul...) par un procédé d'oxydation des résidus soufrés du combustible par l'oxygène.

Il provient :

- De sources d'émission naturelles comme les volcans (par exemple, au Vanuatu).
- Des industries rejetant des effluents soufrés tels que des unités de production d'acide sulfurique, les raffineries, la métallurgie des métaux non ferreux...
- De sources ponctuelles et plus importantes telles que des centrales thermiques de production d'électricité (fioul et charbon)
- De multiples sources faibles comme les véhicules diesel et les chauffages domestiques. [15]

**CHAPITRE III**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **Revue bibliographique :**

De nombreux travaux et publications scientifiques se sont intéressés à la simulation numérique de la ventilation mécanique et l'effet d'un polluant au milieu intérieur on recommande quelques articles concernant notre étude :

Di Liu & al (2012) ont étudié numériquement les effets du nombre de Reynolds, du nombre de Schmidt, de l'efficacité d'élimination de la filtration et du rapport d'air frais. Les résultats montrent que l'augmentation du nombre de Reynolds réduit effectivement le niveau moyen de polluant. La concentration en polluants des différentes molécules est proche du coefficient de diffusion, et le rapport d'air frais a tendance à être uniforme. [16]

Dans le même contexte Fu-Yun Zhao & al (2012) ont parlé de l'augmentation du débit d'air extérieur qui peut réduire le niveau de polluants intérieurs et augmente la charge de refroidissement du bâtiment. Sur la base de l'équation de diffusion de la convection atmosphérique et du modèle de turbulence RSM, un modèle numérique de qualité de l'air intérieur a été développé pour prédire la concentration de polluants dans les bâtiments équipés de nouveaux climatiseurs de fenêtre. Les effets de l'alimentation en air, de la recirculation, de la filtration et de la flottabilité thermique sont également inclus. [17]

Dans cet article Ou Han Ying Zhang & al (2020) ont réalisé des expériences en laboratoire et des simulations numériques sur la conception de la diffusion des polluants et de la ventilation des fuites accidentelles de gaz SF<sub>6</sub> dans les bâtiments SIG.

Les stratégies de ventilation proposées dans ce travail peuvent servir de référence pour augmenter l'efficacité de la ventilation par dilution et minimiser les coûts énergétiques dans des environnements industriels similaires. Cependant, une étude plus approfondie est encore nécessaire pour déterminer les relations entre les différentes densités de gaz lourds (comme le dioxyde de carbone, le chlore, le monoxyde de carbone et le gaz naturel). [18]

Neha Gupta & al (2021) ont étudié deux modèles géométriques différents (BT et TB) avec des positions d'entrée/sortie différentes sont considérés pour étudier l'effet de ventilation d'une pièce fermée. Effectuez une évaluation numérique en trois dimensions pour extraire quantitativement la chaleur et les espèces pour un refroidissement efficace dans un environnement de convection mixte. L'analyse de flux est effectuée sous le changement du nombre de Reynolds. Le nombre de Reynolds a une grande influence sur le nombre de Richardson et le taux de flottabilité. Le taux de flottabilité est utilisé pour évaluer les performances de transfert de chaleur et de masse représentées par le nombre moyen de Nusselt et Sherwood. L'efficacité énergétique est étudiée par la génération d'entropie et les changements de divers paramètres d'efficacité de refroidissement et de débit de contrôle pour calculer les normes d'évaluation des performances et les changements d'air horaires. [19]

Dans ce travail, Xiao Ye & al (2019) ont mené une étude numérique sur le système de ventilation à jet incident, qui a été proposé comme stratégie de ventilation potentielle, combine les effets positifs de la ventilation par déplacement et de la ventilation par mélange.

Les résultats de cette étude montrent qu'en raison des différents modèles de flux d'air intérieur, il existe une grande différence dans la proportion d'air délivrée à la zone de respiration entre la ventilation à jet incident et la ventilation par mélange. Pour les systèmes de volume constant et volume variable. En général, lorsque les deux systèmes sont utilisés pour le chauffage des locaux, le système de ventilation à jet incident peut non seulement fournir une meilleure qualité de l'air intérieur, mais également une efficacité d'élimination des polluants plus élevée que le système de ventilation par mélange avec la même configuration de livraison et de décharge dans cette étude. [20]

Xianting Li & al (2011) ont effectué une méthode numérique pour calculer la distribution des contaminants à l'état d'équilibre est développée sur la base d'un système de ventilation générique.

La méthode proposée a été vérifiée par des expériences et des méthodes numériques. Les résultats indiquent que la méthode a proposé une précision comparable à l'expérience et à la simulation numérique, et peut prédire la distribution des polluants dans un système de ventilation à recirculation en régime permanent. La méthode proposée est également comparée aux méthodes itératives et aux modèles à paramètres locaux. Les résultats obtenus que même pour les calculs de cas, la méthode proposée peut être plus rapide. Au fur et à mesure que le nombre de cas à calculer dans le même champ d'écoulement augmenté, la méthode proposée permettra d'économiser plus de temps de calcul. [21]

Chee Burm Shin & al (1990) ont utilisé une méthode des éléments finis pour étudier le transfert de masse en fonction du temps de la convection naturelle dans une cavité ouverte bidimensionnelle. Celle-ci est destinée à simuler une gravure chimique sélective de couches minces, telle qu'elle est utilisée en production dans le domaine de la microélectronique. Par rapport à la convection forcée, la convection naturelle dans la cavité augmente les échanges de matière d'un ordre de grandeur. Les résultats sont très importants pour la gravure en couche mince anisotrope profonde et d'autres processus similaires. [22]

Des méthodes numériques sont utilisées par Gh. Juncu(2008) pour étudier le transfert de chaleur/masse par convection forcée transitoire d'un écoulement considéré comme stable, laminaire à incidence nulle, d'une plaque plane finie à un flux constant de fluide visqueux et incompressible. Les équations du bilan chaleur/masse ont été résolues numériquement en coordonnées cartésiennes par une méthode des différences finies. Les principaux problèmes analysés sont concentrés sur l'effet des rapports de propriétés physiques et du rapport d'aspect sur le taux de transfert de chaleur/masse, et l'influence du rapport des propriétés physiques et du rapport d'aspect sur le taux de transfert de chaleur. [23]

Dans cette étude, Zhixiang Cao & al (2018) ont étudié numériquement le champ d'écoulement, la répartition des contaminants, l'âge moyen de l'air, l'efficacité du renouvellement de l'air, l'efficacité de la ventilation d'élimination des contaminants et le temps de séjour du contaminant du système d'écoulement vortex dans les grands bâtiments. Pour les contaminants d'émission concentrés dans un bâtiment de grande surface, le système d'écoulement vortex proposé dans cette étude peut être adopté comme une solution pour améliorer la qualité de l'air intérieur. [24]

Abdelghani Raji&Mohammed Hasnaoui (1998) ont étudié numériquement la convection mixte laminaire dans une cavité rectangulaire ventilée, où l'une des parois verticales est affectée par un flux de chaleur constant. Les champs d'écoulement, la distribution de température et le transfert de chaleur moyen sont examinés pour des valeurs des nombres de Rayleigh et de Reynolds. Les résultats des simulations de la ventilation à co-courant nous permettent de maintenir l'influence de la convection naturelle dans toute la gamme de nombres de Reynolds considérée, dès que Ra est Supérieur à  $10^5$  et l'influence des températures moyennes.[25]

**CHAPITRE IV**

**MODELISATION DE LA CONVECTION**

**MASSIQUE DANS UNE CAVITE**

**RECTANGULAIRE**

**4 - Modélisation de la convection massique dans une cavité rectangulaire :****4 -1 Introduction :**

La convection de masse (ou transfert de masse par convection) est la superposition de deux mécanismes de transferts : transport dû au mouvement de la matière, et diffusion moléculaire, ou bien est le mécanisme de transfert de masse entre une surface et un fluide en mouvement qui implique à la fois une diffusion de masse et un mouvement de fluide. Le mouvement du fluide améliore également considérablement le transfert de masse en éliminant le fluide à haute concentration près de la surface et en le remplaçant par le liquide à concentration plus faible plus éloigné. En convection de masse, nous définissons une couche limite de concentration d'une manière analogue à la couche limite thermique et définissons de nouveaux nombres (Schmidt et Sherwood) sans dimension qui sont les équivalents des nombres de Nusselt et de Prandtl [16]. La convection massique, basée sur la diffusion d'un fluide dans un autre, trouve plusieurs applications dans les problèmes de séchage, d'évaporation ou de condensation, de mélange, ainsi qu'en électrochimie et dans certaines opérations de séparation par diffusion. Sa modélisation s'appuie sur le même cadre que la convection thermique, et le passage de l'une à l'autre ne comporte aucune difficulté, du moins dans les cas où il n'y a pas d'interférences avec un transfert de chaleur.

**4 -2 Transfert de masse par diffusion moléculaire :**

Dès qu'un gradient de potentiel chimique d'une espèce [ce qui implique en général un gradient de concentration] est présent au sein d'un système, un déplacement de cette espèce se produit afin de faire évoluer la répartition de potentiel chimique [ou de concentration] vers l'état en accord avec les principes de la thermodynamique. Ce processus est appelé transfert de matière (ou transfert de masse). [17]

Transfert de masse par diffusion moléculaire est analogue à la transmission de chaleur par conduction. Il peut avoir lieu dans un fluide au repos mais aussi dans un fluide en écoulement.

Le transfert de matière consiste en la migration de composés à l'intérieur d'une phase ou entre des phases. Cette migration résulte d'un changement dans l'équilibre d'un système causé par différence de concentration où la matière (particules) peut être transportée ...

...par diffusion de zones concentrées vers des zones de concentrations plus faibles (transport diffusif), par le mouvement du fluide (transport convectif), ou encore sous l'effet de force externe (sous l'effet de la gravité).

### 4 -3 Equation de la diffusion de masse :

La diffusion est le mécanisme de transport de la matière sous l'effet d'un gradient de concentration, depuis les zones concentrées en matière vers les zones moins concentrées. La loi empirique de Fick décrit ce phénomène en énonçant que le flux de matière,  $\vec{C}_O$  est proportionnel au gradient de concentration par l'intermédiaire du coefficient de diffusivité  $D$ .

La loi de Fick exprime une relation linéaire entre le flux de matière et le gradient de concentration de celle-ci :

$$\vec{m} = -D \overrightarrow{\text{grad}} C \quad (4.1)$$

Avec

$\vec{m}$  est la densité de flux massique en (kg/s m<sup>2</sup>) échangé par diffusion solutale au gradient de concentration.

$D$  est la diffusivité massique en (m<sup>2</sup>/ s)

### 4 -4 Les équation du mouvement :

#### 4-4-1 Les équations de Navier-Stokes en coordonnées Cartésiennes :

En mécanique des fluides, l'équation de Navier-Stokes est une équation différentielle partielle non linéaire qui décrit le mouvement du fluide dans un milieu approximativement continu. Par exemple, ils contrôlent le mouvement de l'air dans l'atmosphère, les courants océaniques, l'écoulement de l'eau dans les tuyaux et de nombreux autres phénomènes d'écoulement des fluides. Elles sont nommées d'après deux physiciens du XIX<sup>e</sup> siècle, Claude Navier et George Stokes.

#### 4-4-2 Discrétisation des équations gouvernantes :

L'étape principale de la méthode des volumes finis est d'intégrer l'équation directrice Pour chaque volume de contrôle, l'équation algébrique dérivée de cette facilité intégrale la résolution de l'équation de transport. La projection des équations (4.2), (4.3), (4.4) et (4.5) dans un plan de coordonnées cartésienne (x,y) donne respectivement :

**Equation de continuité :**

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4.2)$$

u et v étant les composantes du champ de vitesse V (u, v) dans la direction x et y respectivement

**Equation de conservation de quantité de mouvement :**

Suivant (ox) :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (4.3)$$

Suivant (oy) :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4.4)$$

**Equation de conservation de la concentration :**

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (4.5)$$

Où :

**u** : est la composante de la vitesse suivant la direction x.

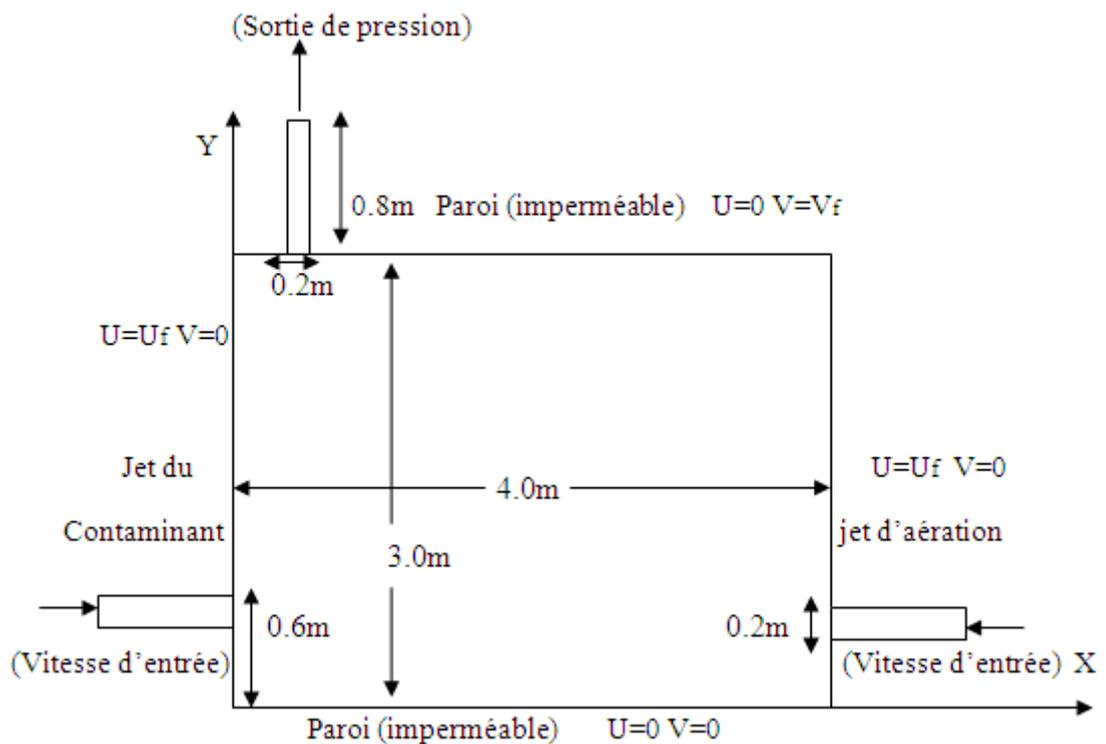
**v** : est la composante de la vitesse suivant la direction y.

**$\rho$**  : est la masse volumique en  $(\text{kg}/\text{m}^3)$ .

## 4.4.3. Hypothèses simplificatrices :

La modélisation du système étudié est basée sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

1. Le fluide considéré est un fluide newtonien.
2. L'écoulement est incompressible.
3. Le fluide est considéré bidimensionnel (suivant les variables d'Euler  $u$  et  $v$ ).
4. Il s'agit d'un écoulement stationnaire.
5. Tout le modèle physique est isotherme.
6. L'écoulement du fluide est en régime laminaire.
7. On néglige les forces de pesanteur.



**Figure 4.1:** Diagramme schématisé dans une pièce bidimensionnelle de  $4.0 \times 3.0$  m

**4.4.4. Les conditions aux limites :**

On suppose le problème d'une cavité carré simple en négligeant les canalisations :

- Paroi bas :  $0 < X < 4$  et  $Y = 0 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
- Paroi haut :
  - $0 < X < 0.4$  et  $Y = 3 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
  - $0.4 < X < 0.6$  et  $Y = 3 \rightarrow U = 0$  et  $V = V_f$
  - $0.6 < X < 4$  et  $Y = 3 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
- Paroi droit :
  - $0 < Y < 0.4$  et  $X = 4 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
  - $0.4 < Y < 0.6$  et  $X = 4 \rightarrow U = U_f$  et  $V = 0$
  - $0.6 < Y < 3$  et  $X = 4 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
- Paroi gauche :
  - $0 < Y < 0.4$  et  $X = 0 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$
  - $0.4 < Y < 0.6$  et  $X = 0 \rightarrow U = U_f$  et  $V = 0$
  - $0.6 < Y < 3$  et  $X = 0 \rightarrow U = 0$  et  $V = 0$

**4.5. Méthode numérique de résolution :**

La simulation est définie comme l'utilisation ou l'analyse d'un modèle correspondant à un système donné pour étudier le comportement de ce dernier dans un environnement spécifique. La suite logique de la modélisation est la première méthode de simulation. Par conséquent, la résolution peut être assurée par des méthodes numériques telles que la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies et la méthode des volumes finis. Cette dernière est la plus utilisée actuellement dans les codes de simulation numérique CFD (Computational Fluid Dynamics).

La modélisation et la simulation interviennent pour La compréhension de la structure et des interactions à l'intérieur d'un système et l'étude du comportement du système par rapport à son environnement extérieur.

Nous avons opté dans cette étude pour l'utilisation du code de calcul FLUENT comme un solveur, et le GAMBIT pour la description géométrique. [18]

#### 4.5.1. Résolution numérique par la méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en volumes de contrôle puis d'effectuer des bilans sur ces petits volumes. Pour cette raison, la formulation fait apparaître des intégrations de volume afin de construire les équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnus), tels que les vitesses, pressions, températures et les autres scalaires conservés tel que la concentration. L'avantage de cette méthode est que tout ce qui sort d'un volume, rentre dans un autre, cette méthode est donc conservative et permet de simuler des écoulements dans des géométries complexes, à partir de différents types de maillages plus ou moins fins.

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en plusieurs volumes de contrôle (cellule), puis d'effectuer des bilan (masse, quantité de mouvement...) sur ces petits éléments. Pour cette raison, la formule révèle l'intégration de volumes. L'avantage de cette méthode est que, donc cette méthode est conservatrice et peut simuler l'écoulement dans des formes géométriques complexes, à partir de différents types de maillages plus ou moins fins. [19]

#### 4.6.2. Le maillage :

Définir le domaine de calcul est une des premières étapes de la simulation. Il s'agit de choisir le nombre de dimensions (de 1 à 3 dimensions) et la forme géométrique de la zone à modéliser. Une fois cette étape franchie, il faut définir un maillage du domaine, c'est-à-dire découper le domaine en mailles élémentaires. Ce menu permet de mailler en particulier une ligne de la géométrie.

Il convient de faire un maillage suffisamment fin pour que les résultats aient une bonne précision et reproduisent l'ensemble des phénomènes sans toutefois conduire à des temps de calcul rédhibitoires. [18]

##### 4.6.2.1. Maillage sous Gambit :

GAMBIT est un logiciel qui permet la création de grilles ou maillages, utilisables notamment Sous Fluent. Le maillage est le prétraitement du logiciel de simulation. Il permet de générer du maillage Structuré ou non structuré dans un système de coordonnées rectangulaires, un système de coordonnées polaires, un système de coordonnées cylindriques ou un système de coordonnées axisymétrique. Une grille complexe bidimensionnelle ou

tridimensionnelle peut être réalisée, type grille Rectangle ou triangle. Pour construire une grille, il est préférable de suivre les étapes ci-dessous :

- Définir la géométrie.
- Réaliser le maillage.
- Définir les paramètres des zones de calcul. [18]

#### **4.6.2.2. Différents types de maillage :**

La méthode des volumes finis est utilisée pour discrétiser diverses équations aux dérivées partielles tridimensionnelles dans le domaine physique et les modèles mathématiques appliqués à l'écoulement considéré. Elle est basée sur l'intégration de ces équations sur des volumes finis qui correspond à la géométrie suivant un maillage imposé par le logiciel Fluent.

#### **4.6.2.3. Le code Fluent :**

La simulation numérique en mécanique de fluide (Computational Fluid Dynamique : CFD), est utilisé pour la modélisation, la visualisation et l'analyse des écoulements fluide et transfert thermique, elle permet aux utilisateurs d'optimiser les performances des nouveaux concepts, tout en réduisant le cycle de commercialisation, le risque associé et le coût. Fluent est un code CFD commercial très utilisée dans l'industrie. Il permet de résoudre les écoulements fluides (champs de vitesse, de température ...), c'est la raison pour laquelle on l'a choisi pour réaliser nos simulations. [18]

#### **4.6.3. Choix des paramètres de FLUENT :**

##### **4.6.3.1 Interface du code Fluent :**

On peut démarrer 4 versions de Fluent 2D, 3D, 2DDP, 3DDP ayants la même interface.



**Figure4.2** : interface du code Fluent

- 2D (2 Dimensions)
- 2DDP (2 Dimensions Double Précision) (l'utiliser dans notre travail)
- 3D (3 Dimensions)
- 3DDP (3 Dimensions Double Précision)

#### 4.6.3.2. Algorithme de résolution :

Le tableau 3.1 présente les différents modèles utilisés sous Fluent :

Variables	Least squares cell based
Accouplement pression –vitesse	Simplec
Pression	Standard
Quantité de mouvement	Second ordre upwind
CO	Second ordre upwind
Energie	Second ordre upwind

**Tableau 4.1:** les différents modèles utilisés sous solveur fluent

#### 4.5.4. Les conditions initiales :

Le fluide est supposé initialement au repos, à une concentration CO, valeurs intermédiaires (moyennes arithmétiques) aux valeurs imposées aux parois. Au temps t=0 on impose instantanément sur les parois latérales de la cavité des concentrations égales à 0.

#### 4.5.5. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont présentées dans le tableau suivant :

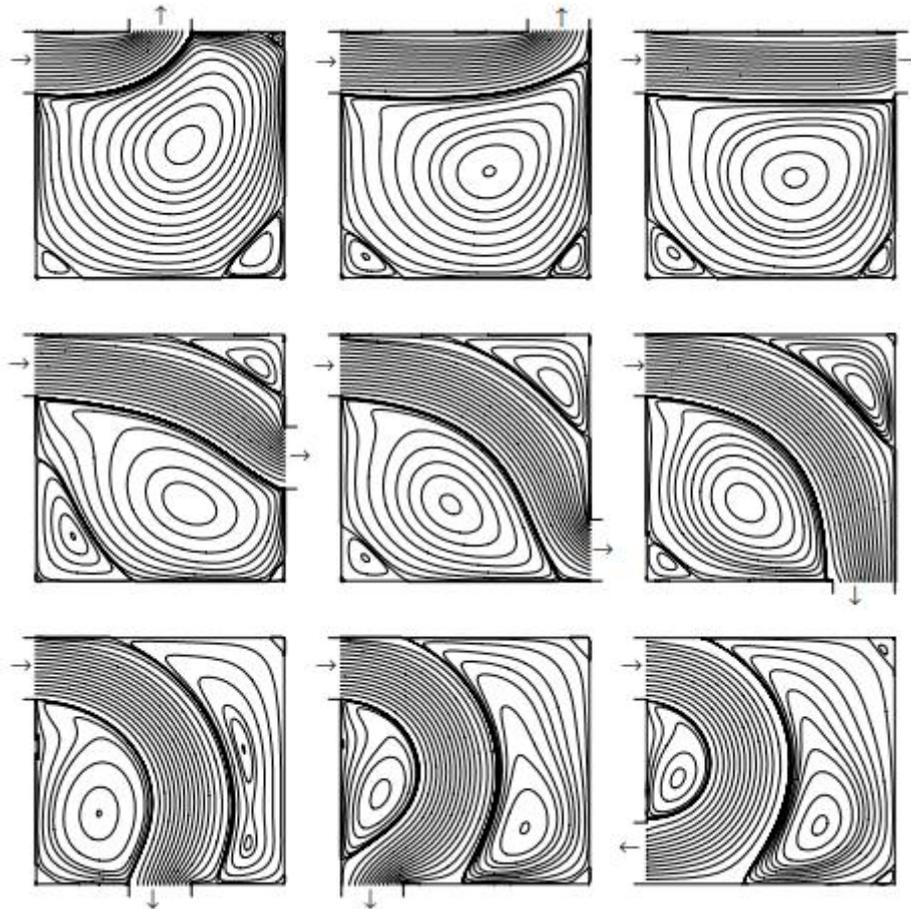
Zone	Type	Caractéristique
Entrée air	Velocity inlet	V=0.005 m/s
Entrée contaminant	Velocity inlet	V=0.001 m/s
Evacuation	Pressure outlet	P= 1 atm
Murs	Wall	Imperméable

**Tableau 4.2:** les paramètres des conditions aux limites

#### 4.5.6. Validation :

Nous avons testé la validité de notre code de calcul Fluent pour des cavités rectangulaires dans des configurations déjà étudiées.

La validation des résultats en régime de convection forcée laminaire stationnaire est ici fondée sur la comparaison du nombre de Reynolds ( $Re = \frac{U_i \cdot 2w}{\nu}$ ) avec les solutions proposées respectivement par S.M.Saeidi et J.M. Khodadadi[21] pour l'air ( $Pr=5$ ) en cavité carrée. Pour simuler une cavité carrée.



**Figure4.3** :Lignes de courant pour  $Re = 500$  et  $W = 0,25$  pour neuf positions différentes de l'orifice de sortie.

Résultat obtenu pour :

Les dimensions :

H= 1 m; w= 0.25 m

$$Ve = \frac{Re \cdot \nu}{2w} = \frac{500 \times 7,528 \times 10^{-7}}{2 \times 0.25} = 7,528 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

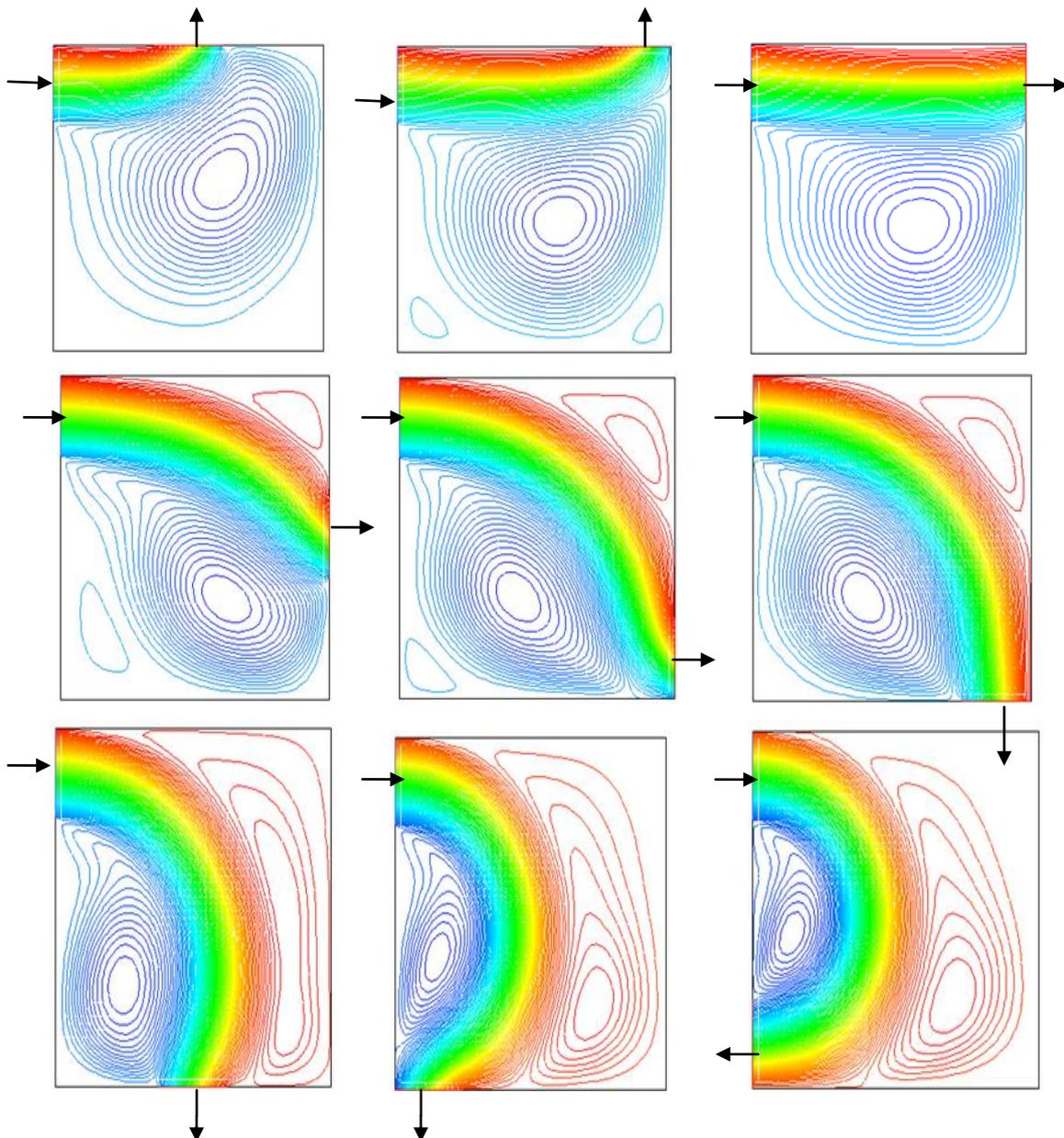


Figure4.4 : Résultat des lignes de courant la simulation pour (validation)

**Discussion :**

Les lignes de courant correspondant à neuf cas avec  $Re = 500$  et  $W = 0,25$  sont illustrés à la Fig4.4 pour différentes positions de l'orifice de sortie. On observe que les lignes de courant représentant le débit du fluide entrant (valeurs de ligne de zéro et débit massique d'entrée) ne coïncident pas avec les deux extrémités des orifices de sortie. Les lignes de

Courant de la rangée supérieure correspondent aux cas où l'orifice de sortie est positionné sur la paroi supérieure ou est plus proche de celle-ci. Le fluide frais entrant dans la cavité parcourt la distance la plus courte possible avant de quitter la cavité. Pour ces trois cas dans la Fig.4.4, la présence d'un vortex primaire qui occupe 75 à 88 % de la cavité est clairement observée.

Deux tourbillons rotatifs situés près des deux coins inférieurs mais qui sont moins intense que le vortex primaire, sont les autres caractéristiques permanentes de ces trois cas.

En passant par la rangée du milieu de la figure 3.4, on peut observer les changements dans le champ d'écoulement comme la position de l'orifice de sortie est abaissée le long de la paroi latérale droite. La zone occupée par le vortex primaire en rotation diminue à mesure que l'orifice de sortie est abaissé. Un vortex tournant qui est créé à côté du coin supérieur droit couvrir une plus grande partie de la cavité lorsque l'orifice de sortie est abaissé. Pour les trois mêmes positions des orifices de sortie. Les champs d'écoulement indiqués dans la rangée inférieure de la figure 4.4 sont obtenus lorsque l'orifice de sortie est déplacé le long de la paroi inférieure vers le coin gauche, le coin inférieur droit montre une situation où les deux orifices d'entrée et de sortie sont présents sur le mur gauche. Lorsque l'orifice de sortie est déplacé vers la gauche, le vortex primaire se rétrécit et occupe l'espace adjacent à la paroi gauche. Le vortex rotatif dans le coin supérieur droit prend de l'importance à mesure que l'orifice de sortie est déplacé vers le côté gauche occupant la moitié droite de la cavité dans le cas le plus extrême.

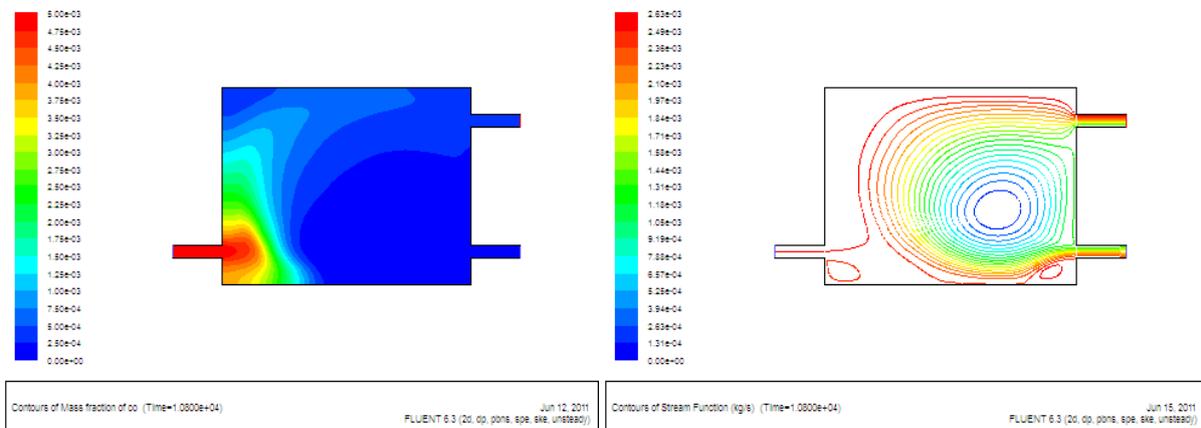
4.6. Résultats obtenus en convection massique :

On fixe la vitesse du jet du contaminant et d'aération, et on varie les positions des deux jets on prend :

- Vitesse d'air : 0.005 m/s
- Vitesse du contaminant : 0.001 m/s

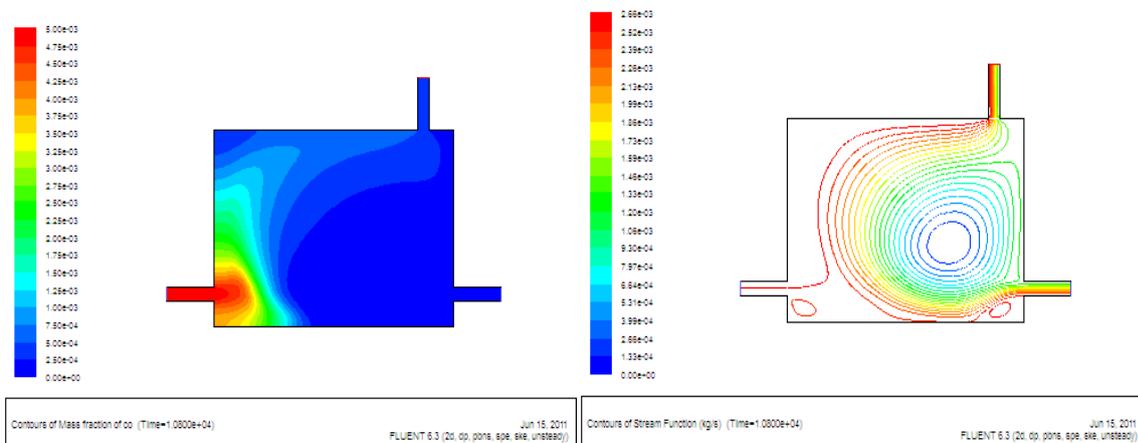
Résultat et discussion :

1<sup>ère</sup> position :



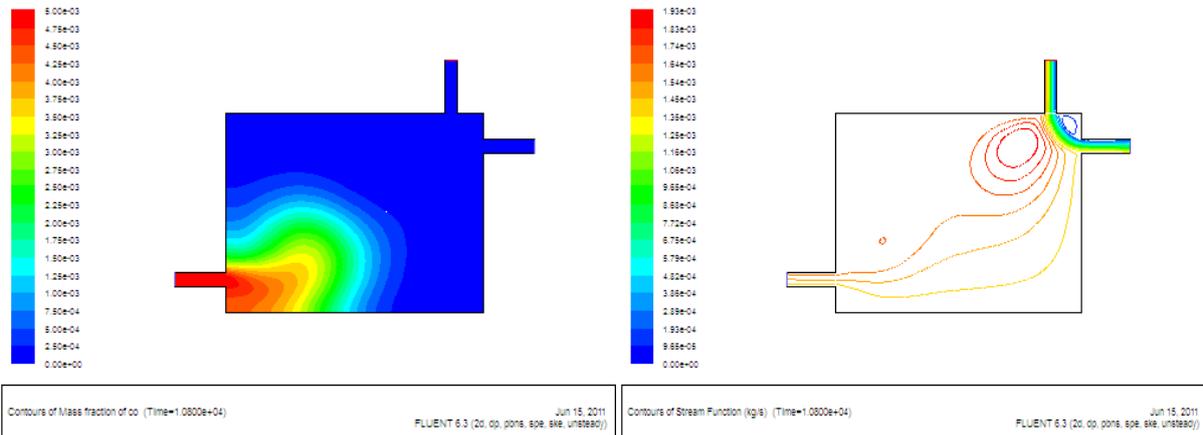
Iso concentration du polluant les lignes de courant

2<sup>ème</sup> position:



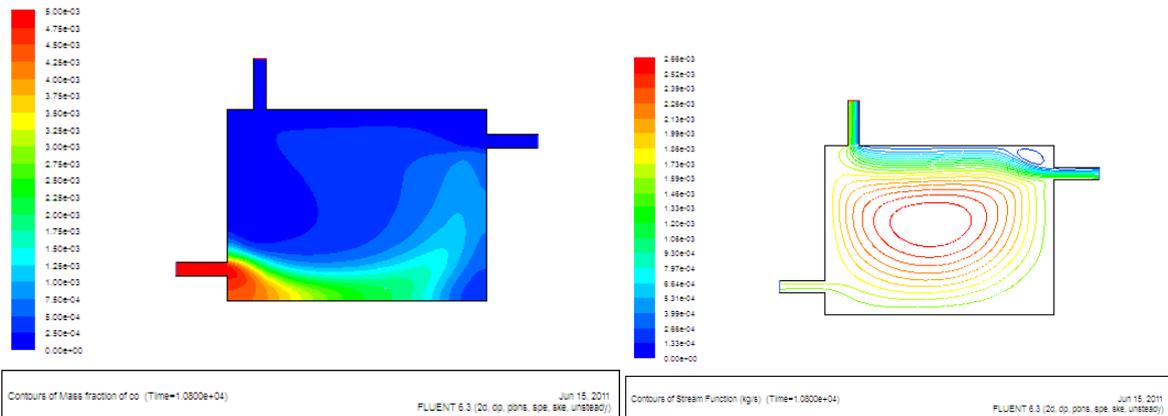
Iso concentration du polluant les lignes de courant

3<sup>ème</sup> position :



Iso concentration du polluant les lignes de courant

4<sup>ème</sup> position :

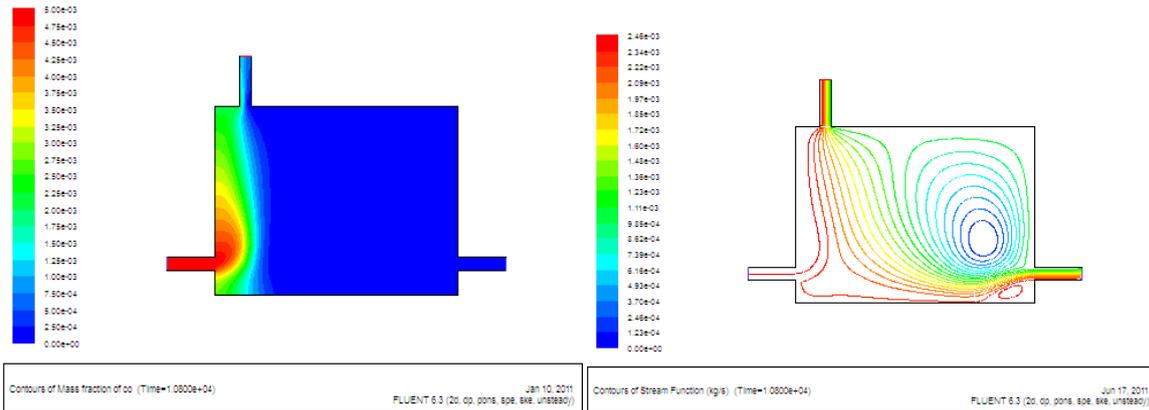


Iso concentration du polluant les lignes de courant

5<sup>ème</sup> Position :

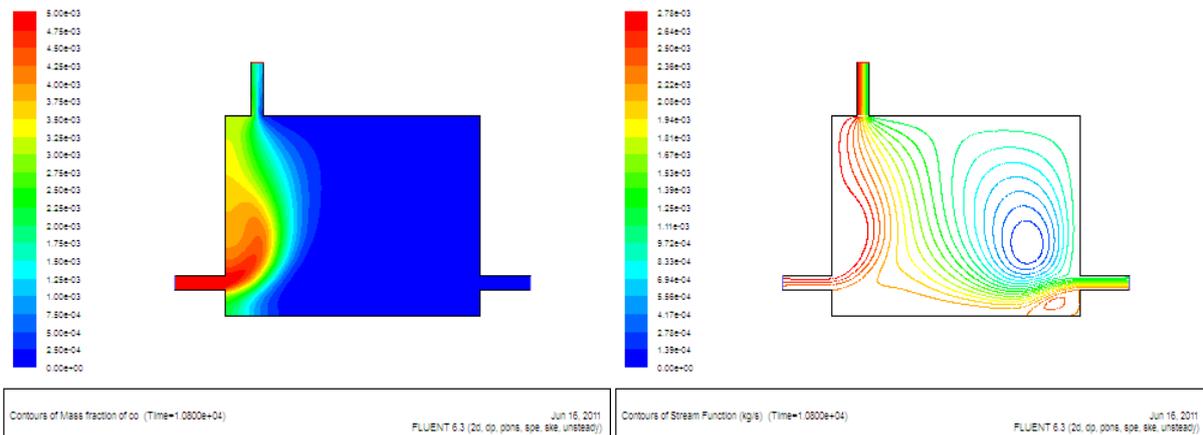
a) Effet de l'intensité du jet du contaminant sur la distribution de la concentration du contaminant.

a.1 - Vitesse du contaminant = 0.001m/s Vitesse d'air = 0.005m/s



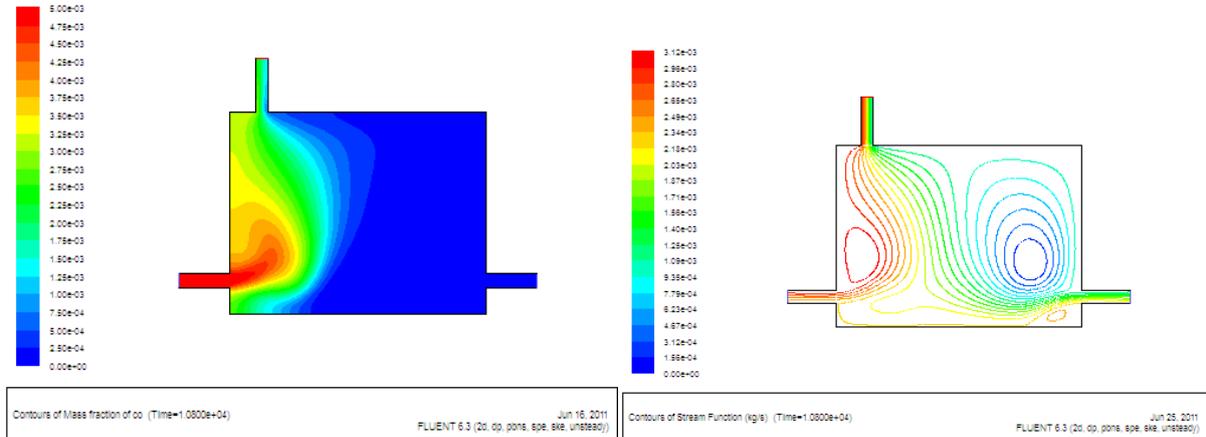
Iso concentration du polluant les lignes de courant

a.2 - Vitesse du contaminant = 0.002m/s Vitesse d'air = 0.005m/s



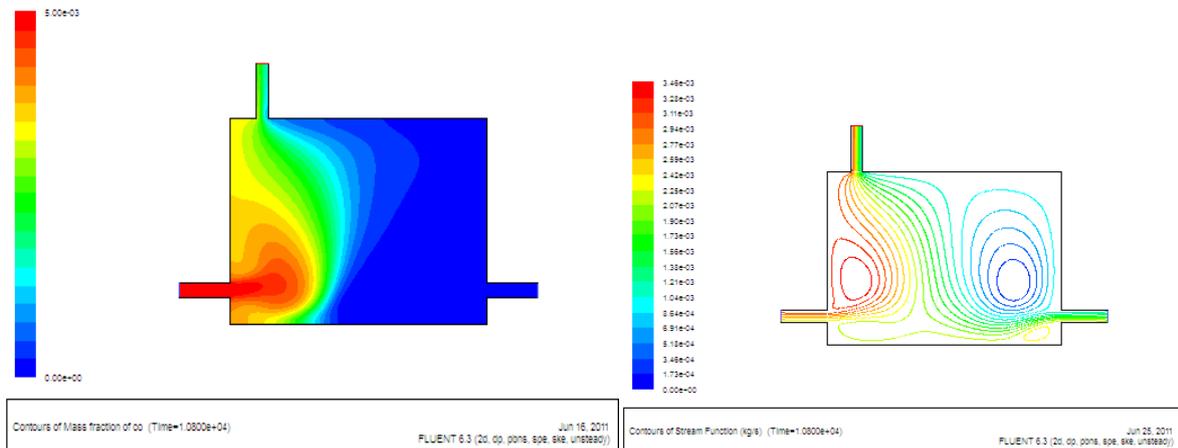
Iso concentration du polluant les lignes de courant

a.3 - Vitesse du contaminant = 0.003m/s Vitesse d'air = 0.005m/s



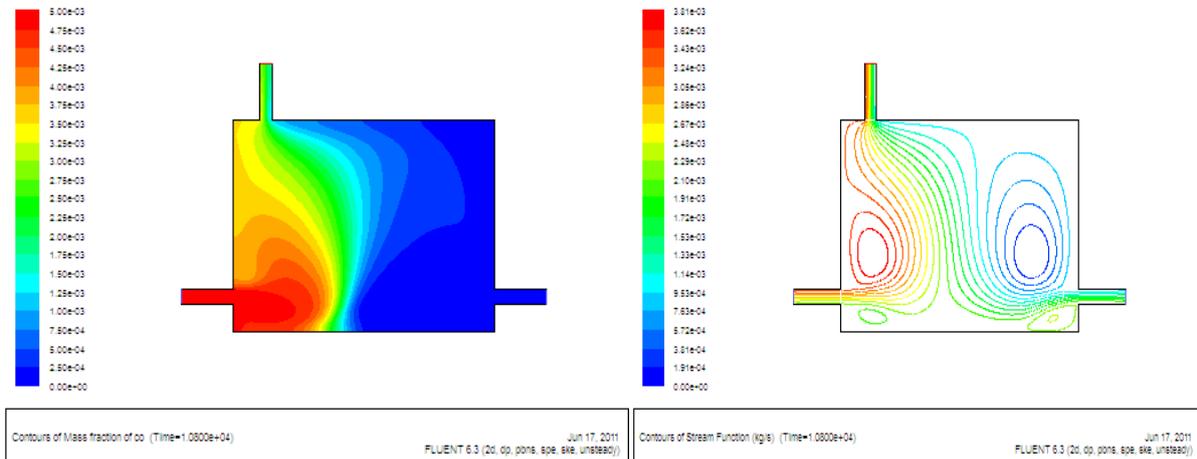
Iso concentration du polluant les lignes de courant

a.4 - Vitesse du contaminant = 0.004m/s Vitesse d'air = 0.005m/s



Iso concentration du polluant les lignes de courant

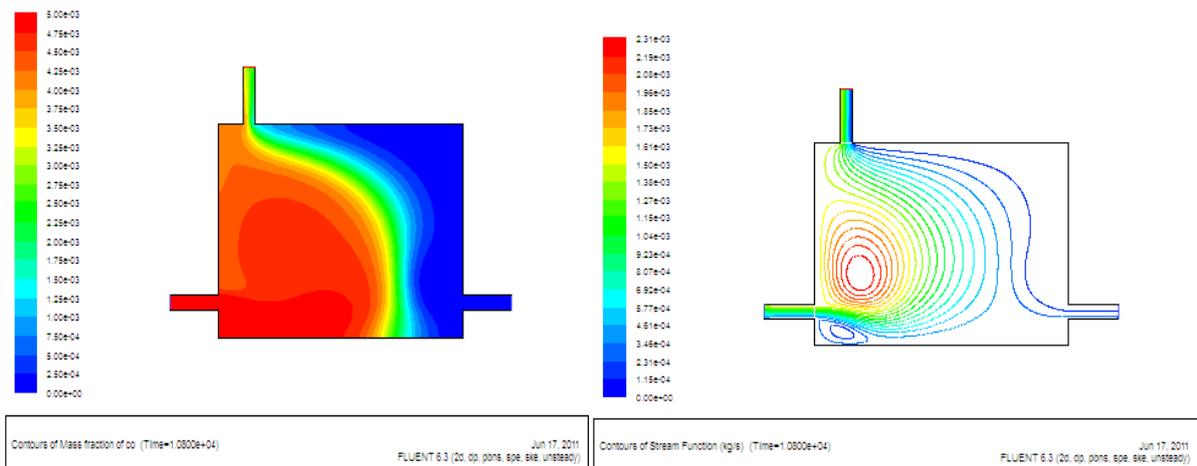
a.5 - Vitesse du contaminant = 0.005m/s Vitesse d'air = 0.005m/s



Iso concentration du polluant les lignes de courant

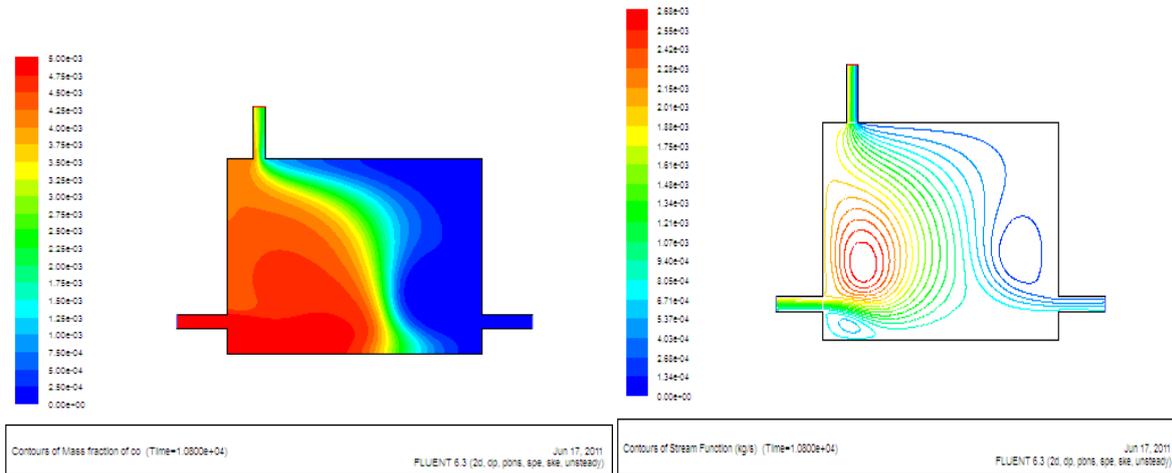
**b) l'effet de l'intensité du jet de l'aération sur la distribution de la concentration du contaminant.**

b.1 - Vitesse du contaminant = 0.005m/s Vitesse d'air = 0.001m/s



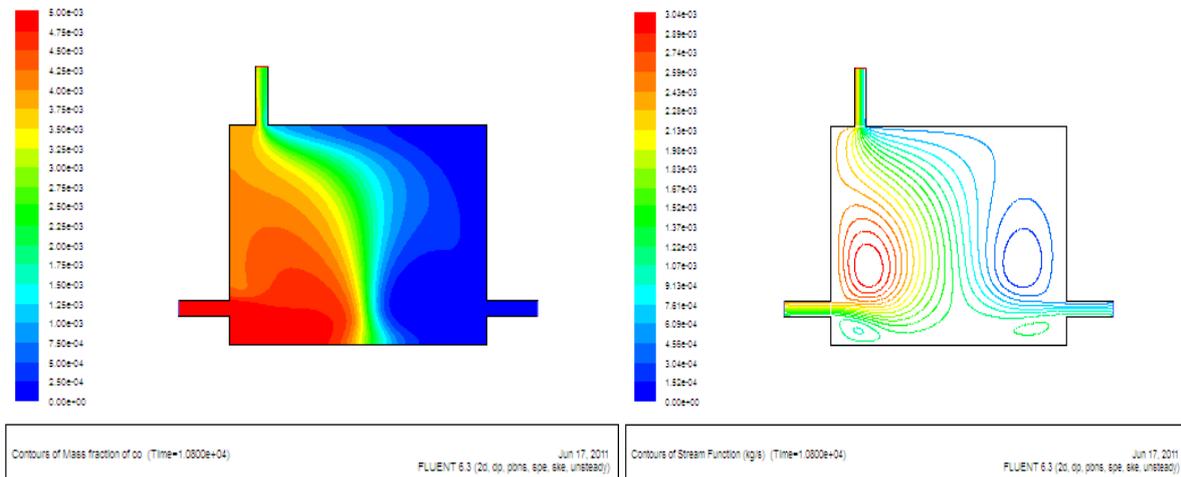
Iso concentration du polluant les lignes de courant

b.2 - Vitesse du contaminant = 0.005m/s Vitesse d'air = 0.002m/s



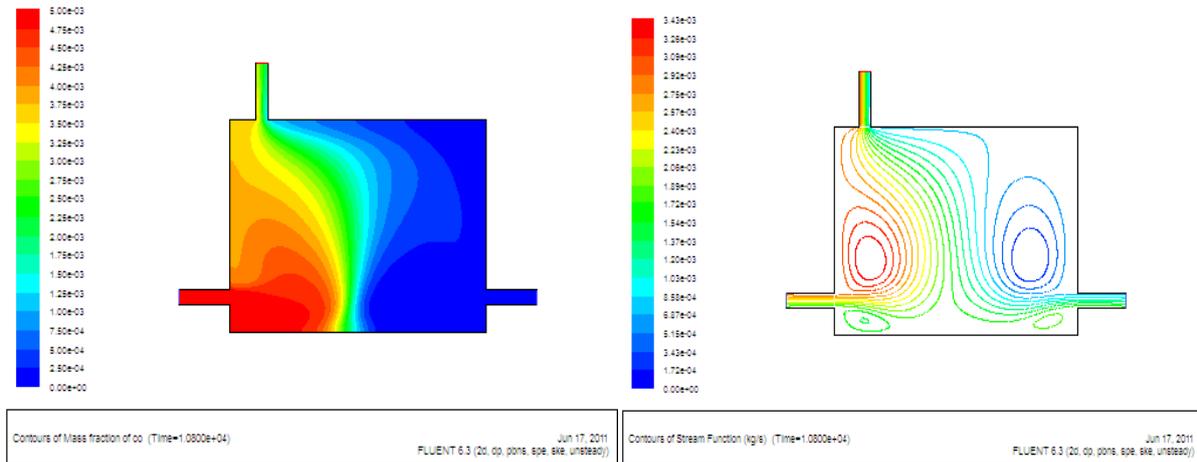
Iso concentration du polluant les lignes de courant

b.3 - Vitesse du contaminant = 0.005m/s Vitesse d'air = 0.003m/s



Iso concentration du polluant les lignes de courant

b.4 - Vitesse du contaminant = 0.005m/s Vitesse d'air = 0.004m/s



Iso concentration du polluant les lignes de courant

Les résultats présentés sont issus des simulations effectuées en changeant à plusieurs reprises les positions de la bouche d'aération et la bouche d'extraction en maintenant la position de la source du polluant fixe :

- **1<sup>ère</sup> position** : pour les résultats des lignes de courants on constate une structure multicellulaire avec deux faibles cellules causées par l'angle droit au-dessous de la source du polluant. Nous remarquons sur la distribution de la concentration du contaminant que les trois quarts de la cavité sont rempli d'air pur parce que le jet de l'air va maintenir le polluant sur la paroi vertical gauche et il va suivre un chemin en allant vers la paroi supérieure pour être évacué.

- **2<sup>ème</sup> position** : les résultats présentés sont presque similaires aux résultats précédents, sur les lignes de courant car la position de la bouche d'évacuation est proche du cas de la première position, donc on remarque toujours la création d'une seule cellule intense.

L'écoulement du polluant va donc suivre le même chemin vers la paroi supérieure ou il va rencontrer la bouche d'extraction qui va le guider pour être éliminé rapidement par rapport au cas précédent.

- **3<sup>ème</sup> position** : L'entrée et la sortie de l'air pur proche d'une de l'autre pas dans la cavité et s'évacue immédiatement vers l'extérieur en entraînant le polluant pour créer une cellule faible qui tourne dans le sens antihoraire et reste localisé à l'angle droite au niveau des bouches d'aération.

La concentration du polluant reste localisée au niveau de la source du polluant car l'écoulement est faible au centre de la cavité et l'évolution du polluant se fait principalement par diffusion massique

- **4<sup>ème</sup> position** : sur les lignes des courants on remarque une création d'une cellule principale qui occupe toute la cavité dans le sens trigonométrique qui provoque un écoulement de l'air pur sur la paroi supérieure de la cavité en suivant un chemin directement vers la sortie.

Le polluant suit un écoulement au niveau inférieur de la cavité puis il remonte avec la paroi verticale droite où il va rencontrer l'écoulement de l'air frais qui va le diriger vers la bouche d'extraction.

- **5<sup>ème</sup> position** : On remarque la création d'une cellule au niveau de la cavité droite dans le sens horaire qui occupe la moitié droite de la cavité, au-dessous laquelle l'écoulement de l'air frais va suivre un écoulement localisé au niveau inférieur de la cavité et il va entraîner directement l'extraction du polluant vers la sortie en le bloquant près de la paroi verticale gauche.

On remarque sur la concentration du polluant que presque la totalité de la cavité est de l'air pur car la position du jet d'air et la position du jet de contaminant sont opposées où la vitesse du jet de l'air pur est plus intense et empêche donc la propagation du polluant au niveau de la cavité en le bloquant vers la paroi verticale gauche où il va être évacué vers la bouche d'extraction se trouvant juste au-dessus.

**c) Effet de la vitesse du contaminant sur la distribution de la concentration :**

Pour étudier l'effet de la vitesse du contaminant sur la distribution de la concentration nous avons choisi le cas de la 5eme position (**figure a.2**). Dans un premier temps nous avons fixé la vitesse du jet de l'air d'aération ( $v_a=0.005$  m/s) et nous avons variée la vitesse du jet du polluant ( $0.002 \leq V_c \leq 0.004$ ) dans les figures **a.2**, **a.3**, **a.4**, on remarque sur les lignes de courant la création d'une cellule à droite de la cavité dû à l'écoulement de l'air pur arrivant de la bouche d'aération vers la bouche d'extraction. L'augmentation de la vitesse du contaminant provoque la naissance d'une cellule secondaire dans le sens antihoraire au niveau de la paroi verticale au-dessus de la source du polluant. On constate que plus la taille de la cellule secondaire augmente plus le contaminant atteint le centre de la cavité avant d'être évacuer.

Ce mouvement combiné provoque une distribution de polluant concentrée près de la source du polluant et une concentration du polluant quasi nul sur toute la moitié droite de la cavité.(**figure a.5**)

**d) Effet de la vitesse d'air sur la distribution de la concentration :**

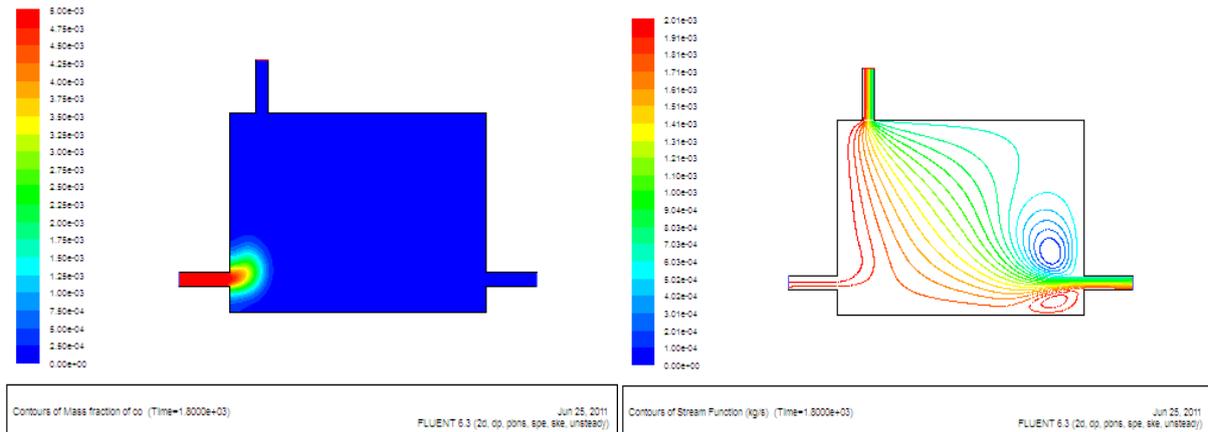
Inversement au cas précédent où on avait la vitesse de l'air supérieur à la vitesse du contaminant, on voit que la structure de l'écoulement est multicellulaire de la même façon que le cas précédant, mais la cellule principale du au jet du polluant occupe presque la totalité de la cavité alors que dans le cas précédant elle représente une cellule secondaire (figure b.1).

L'augmentation de la vitesse de l'air d'aération provoque la naissance d'une cellule secondaire dans le sens horaire au niveau de la paroi verticale au-dessus de la bouche d'aération. On constate que plus la taille de la cellule secondaire augmente plus le contaminant recule vers paroi verticale gauche de la cavité.

Pour analyser l'évolution du polluant par le temps nous avons pris le cas du 5ème position avec un état initial à  $t=0$ , l'air de la cavité est pur avec une concentration nulle du polluant, une vitesse du jet du polluant 0.001 m/s et vitesse de l'air d'aération 0.005m/s.

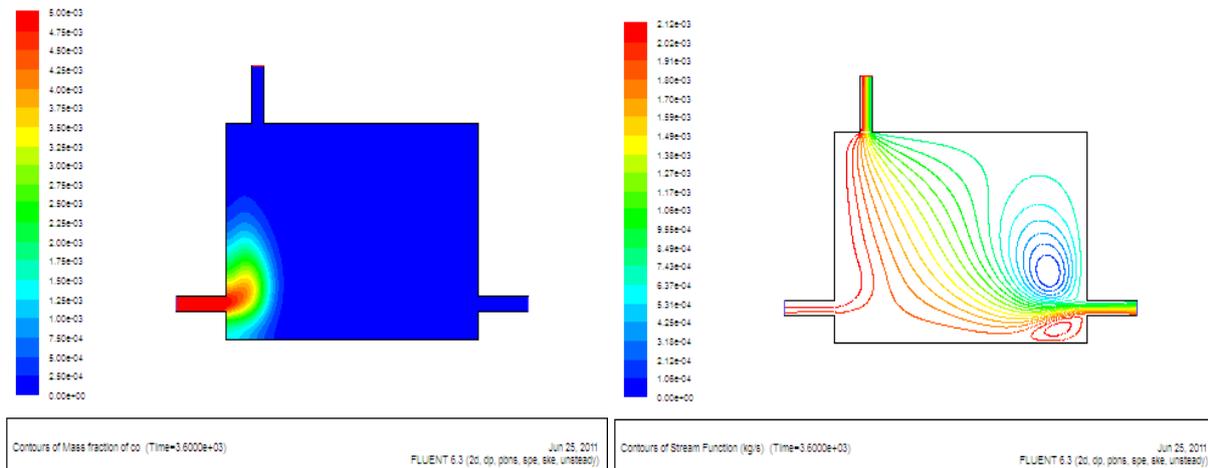
4.7 Etude de la convection massique en régime instationnaire:

- Résultat après 30 min :



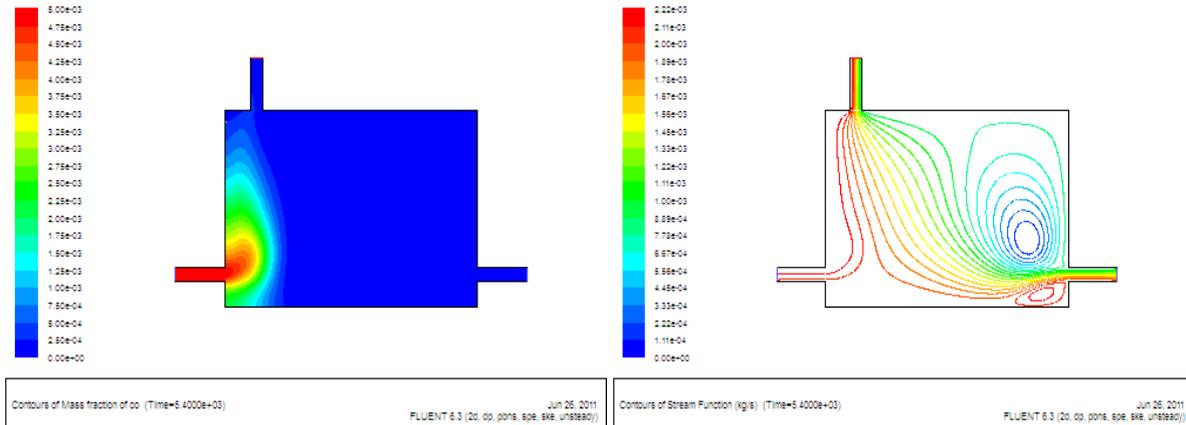
Iso concentration du polluant les lignes de courant

- Résultat après 60 min:



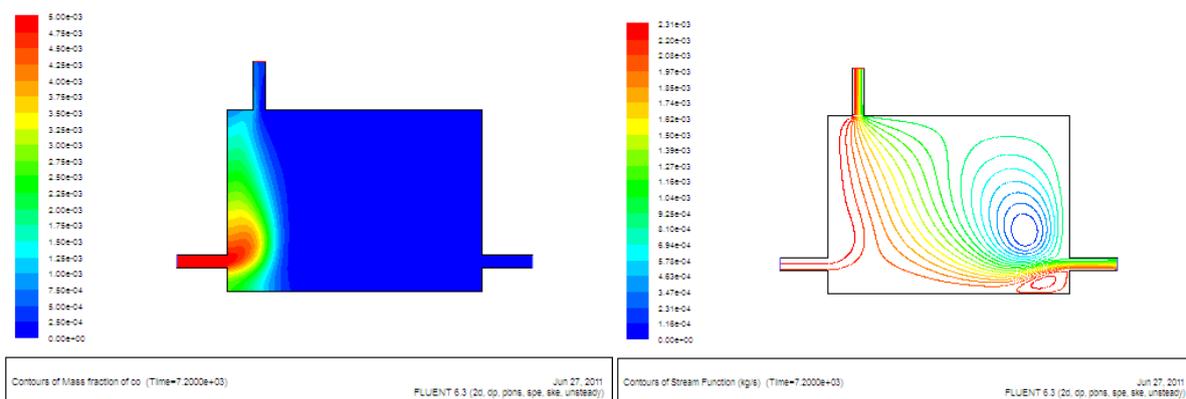
Iso concentration du polluant les lignes de courant

e) Résultat après 90 min :



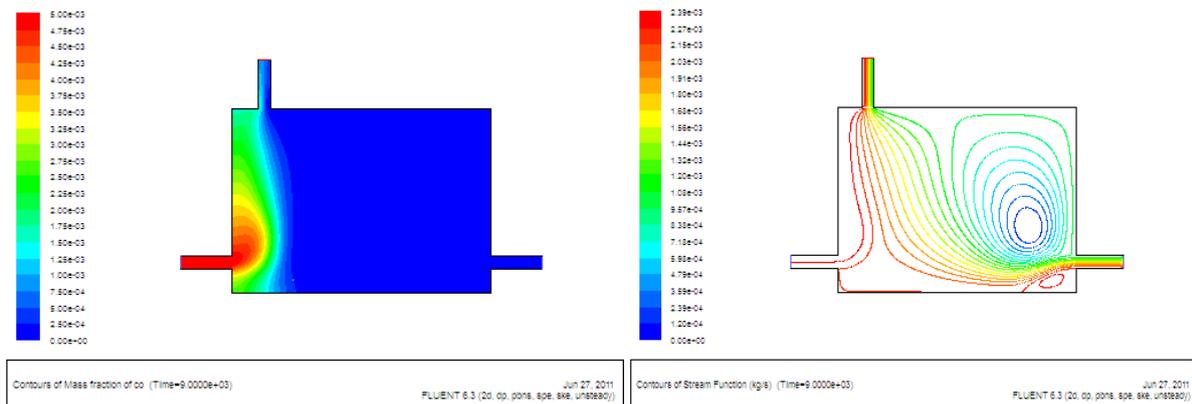
Iso concentration du polluant les lignes de courant

f) Résultat après 120 min :



Iso concentration du polluant les lignes de courant

g) Résultat après 150 min :



Iso concentration du polluant les lignes de courant

Aux premiers instants, on peut voir que l'air pur occupe la totalité de la cavité, et le jet de l'air frais arrivant de la bouche d'entrée d'aération suit la diagonale de la cavité en donnant naissance à deux cellules de tailles différentes dû à l'espace des angles droits avec la bouche d'aération. Les deux cellules possèdent des sens de rotation inverses. On remarque qu'un cet instant ; le polluant reste localisé près de la paroi verticale. En avançant dans le temps on remarque que la cellule supérieure se trouvant au niveau de la paroi verticale droite s'agrandit en repoussant le jet d'air frais vers le bas en réduisant la section de passage ce qui se traduit par des lignes de courant serré et donc par conservation de débit provoque une augmentation de la vitesse du jet. En suivant l'augmentation de cellule dans le temps on peut constater que les lignes de courant suivant la diagonale de la cavité sont de plus en plus serrées entre elle cela traduit une augmentation de la vitesse de l'écoulement suivant la diagonale ce qui explique le maintien de la qualité de l'air à l'état pur. Cette structure d'écoulement de l'air pur arrivant de la bouche d'aération d'entrée et son intensité oblique le polluant à rester localisé près de la paroi verticale gauche en suivant un écoulement vertical vers le haut en s'évacuant directement vers la bouche d'extraction.

## **Conclusion Générale**

Dans ce mémoire nous avons présenté une étude numérique bidimensionnelle laminaire de la convection massique conjuguée dans un espace confiné, en apportant des résultats originaux dans le cas d'une cavité rectangulaire muni d'une ventilation mécanique.

Notre objectif était d'apporter de l'air neuf et pur dans une pièce polluée en le renouvelant par l'utilisation de la ventilation.

Dans ce cas précis de notre travail, la conception de la géométrie élaborée en premier par l'utilisation du logiciel Gambit, on est passé aux simulations numériques en régime instationnaire à l'aide du code Fluent, Nous avons mis au point un modèle numérique basé sur la méthode des volumes finis, et on a montré l'importance de la ventilation à travers des propositions dans différentes positions en les modifiant par la géométrie d'un local simple dans le but d'améliorer le confort des occupants afin d'obtenir un environnement intérieur sain et vivable.

Nous avons aussi obtenu des résultats essentiels pour qu'on puisse choisir parmi ces propositions la meilleure position où la concentration du contaminant est faible par rapport à celle de l'air.

Avec ce résultat, nous avons atteint notre objectif principal en choisissant une meilleure position des bouches d'aération et d'extraction qui permet un séjour minimal du polluant dans un local et permet un taux de concentration faible du polluant, car dans ce cas précis, la position du jet d'air et la position du jet de contaminant sont opposées, où la vitesse du jet de l'air pur  $V_a=0.005$  m/s est plus intense à la vitesse du contaminant soit  $V_c=0.001$  m/s ce qui empêche donc, la propagation du polluant au niveau de la cavité en le bloquant vers la paroi vertical gauche où il va être évacué vers la bouche d'extraction située au niveau de la cavité supérieure.

En conclusion, nous pouvons dire que nous avons pu localiser les endroits où le monoxyde de carbone se concentre le plus en fonction des positions des jets d'air neuf, nous permettant de proposer les meilleures positions des bouches d'aération pour éviter des accidents liés à la contamination de l'environnement du local par le monoxyde de carbone.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] <https://conseilsthermiques.org/contenu/confortthermique.php#:~:text=Pour%20obtenir%20un%20confort%20-thermique,%C3%A9nergie%20d'environ%207%25.>
- [2] Marc Abadie, Contribution a l'étude de la pollution particulaire : rôle des parois, rôle de la ventilation, Thèses de doctorat de l'université de la rochelle 9- 2000
- [3] Jean-Bernard Gay, Section 2 : Confort et santé, 2001
- [4] Ransom, M. R. et C. Arden Pope III. «Elementary school absences and PM-10 pollution in Utah Valley», Environ Res, 58, 1992, p. 204-219.
- [5] Burnett, R. T., S. Cakmak et J. R. Brook. «The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities», Can J Public Health, 89, 1998, p. 152-156.
- [6] La pollution de l'air intérieur De Louise SCHRIVER-MAZZUOLI 2009 Ed. Dunod
- [7] PFE Etude et simulation de ventilation d'un local Réalisé par Saheb bilal et larab Nasreddine Soutenu le: 24 /09 /2018
- [8] Heinsohn R.J. – industrial ventilation. Engineering Principles. John Wiley & sons, New York, 1991, 699 p.
- [9] INRS. – Guide pratique de ventilation n° 0. Principes généraux de ventilation. Institut national de recherche et de sécurité, Paris, 1996, ED 695, 36 p.
- [10] <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>
- [11] <file:///C:/Users/ali/Downloads/intoxication-co.pdf>
- [12] Langford NJ. Carbon dioxide poisoning. Toxicol Rev 2005;24:229-35.
- [13] Scott JL, Kraemer DG, Keller RJ. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. J Chem Health Saf 2009;16:18-22.
- [14] WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000. Air quality guidelines for Europe, Second Edition, Copenhague, World Health Organization, Regional Office for Europe, chap. 7.1. [[http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/20010910\\_6](http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/20010910_6)].

[15] Harkonen H., Nordman H., Korhonen O. and Winblad I. (1983) - Long-term effects of exposure to sulfur dioxide: lung function after a pyrite dust explosion. *Am Rev Respir Dis*, 128, 890-893.

[16] Di Liu, Fu-Yun Zhao and Guang-Fa Tang, 2008, "Numerical analysis of two contaminants removal from a three-dimensional cavity", *International journal of Heat and Mass*, pp. 378–382.

[17] Di Liu, Fu-Yun Zhao and Guang-Fa Tang 2012, "Turbulent transport of airborne pollutants in a residential room with a novel air conditioning unit", *Refrigeration*, pages.1455-1472.

[18] Ou Hana, Ying Zhanga, Angui Li, Jianwei Li, Yuwei Lia and Huagan Liu 2020, "Experimental and numerical study on heavy gas contaminant dispersion and ventilation design for industrial buildings", *Sustainable Cities and Society Volume 5*",102016.

[19] Neha Gupta, A.K.Nayaka, and B.Weigand 2021, "Three-dimensional characterization of airflow, heat and mass transfer in a slot-ventilated enclosure", *International Communications in Heat and Mass Transfer Volume 121*, pp 105034.

[20] Xiao Yea, Yanming Kang, FangYang and Ke Zhong 2019," Comparison study of contaminant distribution and indoor air quality in large-height spaces between impinging jet and mixing ventilation systems in heating mode", *Building and Environment Volume 160*, pp, 106159.

[21] Xianting Lia, Xiaoliang Shao, Xiaojun Maa, Yuanhui Zhang and Hao Cai 2011," A numerical method to determine the steady state distribution of passive contaminant in generic ventilation systems", *Journal of Hazardous Materials Volume 192*, Issue 1, Pages 139-149.

[22] Chee Burm, Shin Demetre and J.Economou 1990," Mass transfer by natural and forced convection in open cavities", *International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 33*, Issue 10, Pages 2191-2205.

[23] Gh. Juncu 2008," Mass transfer by natural and forced convection in open cavities" *International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 33*, Issue 10, Pages 2191-2205.

[24] Zhixiang Caoa, Yi Wang, Chao Zhaia and Meng Wang 2018," Performance evaluation of different air distribution systems for the removal of concentrated emission contaminants

### CHAPITRE III

using a vortex flow ventilation system”, Building and Environment, Pages 211-220.

[25] Abdelghani Raji & Mohammed Hasnaoui 1998,” Correlations on mixed convection ventilated cavities” Revue General de Thermique Volume 37, Issue 10, Pages 874-884.

- [26] Heat and Mass Transfer FUNDAMENTALS & APPLICATIONS by YUNUS A. ÇENGEL and AFSHIN J.GHAJAR 6<sup>th</sup> edition 2015.
- [27] C.BEGHEIN "Contribution à l'étude numérique de la convection naturelle thermosolutale en cavité-Application à la diffusion de polluants dans les pièces d'habitation", Thèse de Doctorat: Université de Lyon, 1992. 251p.
- [28] Khodja Nabila CHEREF, Etude numérique des écoulements dans les micro-canaux ; Thèse de Magister, Université de Batna.2010.
- [29] Aicha BOUHAZZA, Etude d'une couche limite laminaire en convection mixte, effet de l'inclinaison de la paroi, thèse de magister université de Skikda.2007
- [30] Documentation Fluent. <http://courses.cit.cornell.edu/fluent>. (16/05/2010).
- [31] S.M. Saeidi, J.M. Khodadadi 2006, "Forced convection in a square cavity with inlet and outlet ports", International journal of Heat and Mass transfer, pp 1896–1906.