الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie des Procèdes et l'Environnement

Mémoire Fin d'Études
Pour l'Obtention du Diplôme
De Master

Thème :

Dispersion des Composés Organique Volatiles

Présenté par :

- **Mohamed Khelladi**
- **Messaoud Saoudi**

Année Universitaire

2021/2022

Remerciements

Je tiens à remercie avant tous
« LE BON DIEU »

Qui nous donné la volonté, et le courage pour continu â nos études, et atteindre ce niveau, et on exprime notre profonde gratitude.

Je tiens à remercie Mr. Abdellah IBRIR
Pour ses conseils et sa grande assistance.

Je tiens à remercie aussi Mdm. FERHAT Samira d'avoir accepté l'évaluation de ce modeste travail.

Je remercie également tous enseignants du département de génie des procèdes et l'environnement.

Je remercie tous ceux, qui de près ou de loin, qui ont contribué & participé à réaliser ce mémoire.

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce mémoire à tous ceux qui me sont chers,

A MES CHERES PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse dieu, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

Je dédie ce travail de fin d'étude tout d'abord à mes parent que dieu les accord la miséricorde qui ont veuilles sur moi.
***Mes frères** et **mes sœurs** chaqu'un par son nom.*

*A **mes amis fidèles** et **mes chères collègues**...*

Mohamed

Dédicace

Je tien à dédier mon modeste mémoire de fin d'étude à ***mes chères parents*** *qui m'en soutenu durant toute ma préparation du mémoire.*

Je dédie à ***mes chères frères*** *&* ***sœurs*** *pour leur soutien permanant.*

*Je dédie à toute ma famille (****SAOUDI****) qui m'encourage.*

Je dédie à ***mes amies*** *et toutes les personnes qui m'ont encouragée.*

Messaoud

Liste des figures :

Figure	*N° de page*
CHAPITRE II	
Figure I.1 : Structure chimique du Benzène	**3**
Figure I.2 : Formule d'Acétone	**4**
Figure I.3 : Les techniques de traitement de COV selon le débit et la concentration du rejet	**7**
Figure I.4 : Diagramme de Flux d'Air (RTO)	**7**
Figure I.5 : Simulation d'absorbation par un grain de Charbon actif	**10**
Figure I.6 : Simulation de Condensation Crygénique	**11**
Figure I.7 : Roto concentrateur par Babcock Wanson	**12**
Figure I.8 : Dessin explicatif montrant le cycle des COV	**16**
Figure I.9 : Les sources les plus importants de COV dans un pays européen en 2001.	**17**
CHAPITRE II	
Figure II.1 : Dimensions et conditions de configuration en (2D).	**24**
Figure II.2 : Le sens des entrées et sorties du domaine à étudier.	**24**
Figure II.3: Détail du maillage final (Fin).	**25**
Figure II.4: Profile de dispersion du gaz au centre des quatre bâtiments.	**28**
Figure II.5 : Profile de dispersion de gaz au milieu des bâtiments.	**28**
Figure II.6 : Vitesse de dispersion des gaz d'échappement au centre des bâtiments.	**29**
Figure II.7 **:** Dispersion de gaz dans l'axe à une distance de 7 m des façades des bâtiments.	**30**
Figure II.8 : Dispersion du gaz à 7 m des façades des bâtiments	**30**
Figure II.9 : Vitesse de dispersion des gaz d'échappement émis à une distance de 7 m de l'axe des bâtiments.	**31**
Figure II.10 : Dispersion des gaz du benzène à une source située au niveau inférieur de l'axe des bâtiments.	**32**
Figure II.11 : Effet de la dispersion du gaz à une source située au niveau inférieur sur les façades des bâtiments.	**32**
Figure II.12 : Vitesse de dispersion du benzène à une source située au	**33**

niveau inférieur de l'axe des bâtiments.	
Figure II.13: Effet de la hauteur des bâtiments H = 12 m sur l'accumulation de gaz polluants.	**34**
Figure II.14: Effet de la hauteur des bâtiments H = 12 m sur la vitesse de dispersion des polluants gazeux.	**34**

Liste des tableaux :

Tableau	*N° de page*
Chapitre I	
Tableau I.1 : Liste des COV les plus fameux.	2
Chapitre II	
Tableau II.1 : Émissions de certains polluants en Europe (Pfeffer 1994).	21
Tableau II.2 **:** Valeurs des constantes du modèle k-ε.	22
Tableau III.5 : Les paramètres des maillages utilisés.	26

Remerciement & Dédicaces

Liste des figures .....A

Liste des tableaux C

Table des matières.....D

Introduction ……..…….....…….1

CHAPITRE I

I. Les Composés Organiques Volatiles

I.1 Les composés organiques volatiles …….....……...……..2

I.1.1 Benzène …….....…....…….3

I.1.2 Le Benzène, ou en trouve ? 3

I.1.3 L'Acétone …….....4

I.1.4 L'Acétone, ou en trouve ? …….....5

I.1.5 Utilisations de l'acétone …….....…5

I.2. Méthodes de traitement & élimination des vapeurs des COV.....…6

I.2.1 Technologie destructrice …….....……..…7

1) Oxydation Thermique Régénérative (RTO) …….....……7

2) Oxydation Thermique de Récupération …….....……...8

3) Oxydation Catalytique Régénérative (RCO) …….....….8

4) Oxydation avancée de la phase gaz (GPAO) …….....9

5) Bio filtrage ……....….....9

6) Absorption par charbon actif …….....10

7) Condensation Cryogénique …….....10

8) Absorption physique / chimique …….....12

I.2.2 Autres Technologies …….....12

1) Roto-concentrateur à Zéolite + RTO …….....12

2) Évapo-Oxydation …….....13

I.3. Les impacts des COV …….....14

I.3.1 Sur la santé ……..…….....14

I.3.2 Sur l'environnement ……..…….....15

1) Les effets sur les bâtiments ……..…….....16

2) Les effets sur la faune et la flore ……..…….....16

II. la simulation de la dispersion des gaz volatiles.

II.1 La dispersion des polluante (COV) dans l'atmosphère ……..…….....17

II.1.1 Qu'est-ce que la pollution atmosphérique ? 17

II.1.2 Sources des polluants atmosphériques ……..…….....18

II.1.2.1Sources naturelles …….....18

II.1.2.2 Sources Anthropiques …….....18

II.2 Différents types de dispersion ……..…….....19

II.3 Conséquences …….....19

CHAPITRE II

II.1 Évaluation et prédiction des effets de la dispersion de (COV) sur la population dans l'air urbain à l'aide de logiciel de simulation ANSYS (CFX)……..…….....20

II.1.1 Simulation numérique 21

II.1.2 Conditions initiales et aux limites.....26

II.2 Simulation par ANSYS.....27

II.2.1 Évaluation et prédiction par ANSYS CFX des effets de la dispersion de benzène sur la population dans un milieu urbain.....27

Conclusion.....35

Références bibliographiques .....*G*

الملخص:

بصفة يومية يتم طرح **المركبات العضوية المتطايرة** من المصانع الناتجة عن مختلف الصناعات الكيميائية، الصيدلانية، والبلاستيكية و غيرها... و تكون هاته المركبات **ضارة** للإنسان و المحيط و تصل في بعض الحالات إلى أن تكون سامة و ذات تأثير مباشر على الإنسان أو محيطه و غذائه، و حتى يستطيع الإنسان **الحد** من مضارها أو التقليل من حدتها يضطر لاستعمال بعض **الوسائل و التقنيات التكنولوجية و الفيزيائية** فتعرف بما يسمى بعملية **التشتيت** "Dispersion"، و قد تناولنا في بحثنا هذا بصفة وجيزة كل ما يدور حول هاته المركبات (بصفة خاصة مركبيَ البنزن " Benzène" و الأسيتون " Acétone") مصادرها، تأثيرها، و الطرق المثلى للحد منها. كما تطرقنا في الأخير إلى **المحاكاة** بواسطة برنامج "Ansys" التي مكنتنا من تقديم محاكاة رقمية لعملية تشتيت لغاز ملوَث في وسط حضاري حتى نتمكن من الفهم الصحيح للعملية و مراحلها بدقة.

الكلمات المفتاحية: المركبات العضوية المتطايرة، ضارة، الوسائل و التقنيات التكنولوجية و الفيزيائية، التشتيت، المحاكاة، Ansys.

Résume :

On a daily basis, **volatile organic compounds** are introduced from factories resulting from various chemical, pharmaceutical, plastic and other industries... These compounds are **harmful** to **humans** and the environment, even in some cases these compounds are up to the point of danger classified as toxics and have a direct impact on humans or their environment & nourishment. And in order for the human to reduce their harm, he is forced to use certain **technological and physical methods** and techniques to be known as **Dispersion**. In our research we have briefly addressed everything that revolves around these compounds (particularly Benzene and Acetone), its sources, its impact and the available ways to limit it. We also discussed the simulation by "**Ansys**" which enabled us to provide a digital simulation of the dispersal of polluted gas in a civilized area so that we can properly understand the process and its stages accurately.

Keywords : Volatile organic compounds, harmful, technological and physical methods, dispersion, Ansys

Au quotidien, des **composés organiques volatils** sont introduits à partir d'usines issues de diverses industries chimiques, pharmaceutiques, plastiques et autres... Ces composés sont **nocifs** pour l'homme et l'environnement, même dans certains cas ces composés sont jusqu'au point de danger classés comme toxiques et ont un impact direct sur les humains ou leur environnement & nourriture. Et pour que l'humain réduise ses dommages, il est obligé d'utiliser certaines **méthodes et techniques technologiques et physiques** connues sous le nom de **Dispersion**. Dans nos recherches, nous avons brièvement abordé tout ce qui tourne autour de ces composés (en particulier le benzène et l'acétone), ses sources, son impact et les moyens disponibles pour le limiter. Nous avons également discuté de la simulation par «**Ansys**» qui nous a permis de fournir une simulation numérique de la dispersion de gaz pollués dans une zone civilisée afin que nous puissions bien comprendre le processus et ses étapes avec précision.

Mots clés : composés organiques volatils, nocifs, méthodes et techniques technologiques et physiques, dispersion, Ansys.

INTRODUCTION

En chimie, une dispersion est un mélange hétérogène dans lequel une ou plusieurs phases sont finement mélangées à une autre phase sans se dissoudre dans celle-ci. Cette ou ces phases (appelées phase dispersée) sont discontinues, c'est-à-dire constituées de petits domaines indépendants (particules), contrairement à l'autre phase (phase dispersée) qui est continue, c'est-à-dire constituée de domaines uniques et géants (dont des particules). La particule 1 peut être observée seule à l'œil nu (dispersion grossière) ou au microscope (dispersion colloïdale).

Ces mélanges représentent l'état dispersé des substances (systèmes dispersés biphasiques, triphasiques, multiphasiques lorsqu'ils sont constitués de deux, trois phases ou plus).

I. Généralité sur la dispersion des Composés Organiques Volatiles

I.1. Les composés organiques volatiles

La famille des composés organiques volatils (COV) regroupe toutes les molécules formées d'atomes d'hydrogène et de carbone (hydrocarbures), et celles dont les atomes d'hydrogène sont remplacés par d'autres atomes comme l'azote, le chlore, le soufre, ou l'oxygène. Ce sont des gaz et des vapeurs qui peuvent s'évaporer plus ou moins rapidement à température ambiante.

Les émissions de la végétation ou d'autres phénomènes naturels tels que les feux de forêts, les éruptions volcaniques, etc…, constituent des sources naturelles de COV.

Classe	Composé	Formule	Source principale	Puits	Intervalle de conc.
Alcanes	Méthane	CH_4	Processus microbiens, gaz naturel	OH	1,7 ppm
	Ethane	C_2H_6	Véhicules à moteur	OH	0-100 ppb
	Hexane	C_6H_{14}	Véhicules à moteur	OH	0-30 ppb
Alcènes	Ethène	C_2H_4	Véhicules à moteur,	OH, O_3	0-100 ppb
	Propène	C_3H_6	Véhicules à moteur,	OH, O_3	0-30 ppb
	Isoprène	C_5H_8	Végétation	OH	0-30 ppb
Alcynes	Acétylène	C_2H_2	Combustions, véhicules	OH	0-100 ppb
Aromatiques	Benzène	C_6H_6	Véhicules à moteur,	OH	
	Toluène	C_7H_8	Véhicules à moteur	OH	
Aldéhydes	Formaldéhyde	HCHO	Véhicules à moteur	hv, OH	
	Acétaldéhyde	CH_3CHOO	Véhicules à moteur	hv, OH	
	Acroléine	CH_2CHCHO			
Cétones	Acétone	$CH3C(O)CH_3$		hv, OH	0-10 ppb
Acides	Acide formique	HCOOH		Pluie	
	Acide acétique	CH_3COOH		Pluie	
Alcools	Méthanol	CH_3OH		OH	

Tableau I.1 : Liste des COV les plus fameux.

En milieu urbain et industrialisé, ils proviennent en majorité des activités humaines: ils sont alors émis par des phénomènes de combustion (gaz d'échappement notamment, cheminées

d'usines, fours, …) ou par évaporation lors du stockage de produits pétroliers, ou de la fabrication/manipulation de solvants, d'insecticides….

Ils sont utilisés dans la fabrication de nombreux produits et matériaux présents à la maison ou en milieu professionnel : solvants, peintures, colles, panneaux de particules, produits de jardinage, produits ménagers, déodorants….

I.1.1 Benzène

Le benzène fait partie de la sous-famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Il est classé cancérogène avéré (groupe 1) par le CIRC pour les leucémies.

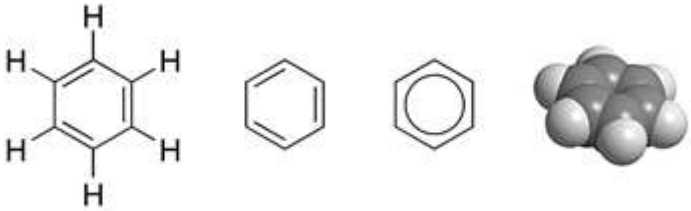


Figure I.1 : Structure chimique du Benzène

Il provient des processus de combustion (dont le fumage), du transport routier et des activités industrielles. Son rayonnement est présent à proximité des stations-service. Dans les espaces clos, le benzène provient à la fois de sources intérieures et d'importants transferts de pollution atmosphérique depuis les zones bâties et industrielles. Les sources spécifiques d'espaces clos comprennent la combustion domestique comme le tabagisme, la cuisson des aliments, le chauffage de locaux autres que le chauffage électrique ou l'utilisation de bougies et d'encens ; divers produits présents dans les environnements intérieurs (matériaux de construction et d'ameublement, produits de bricolage et d'entretien) peuvent également contiennent du benzène. Par conséquent, l'air intérieur a une grande influence sur l'exposition des personnes au benzène. L'inhalation est la principale voie d'exposition au benzène.

I.1.2 Le Benzène, ou en trouve ?

Le benzène peut provenir de sources naturelles, mais elles sont négligeables. Le benzène est un constituant naturel du pétrole brut et peut pénétrer dans l'eau par lessivage du pétrole dans le sol ou par l'eau s'écoulant à travers les minerais pétrolifères (Environnement Canada et

Santé Canada, 1993). Le benzène peut également être rejeté dans l'air par les émissions gazeuses des volcans et des incendies de forêt (ATSDR, 2007).

La majeure partie du benzène présent dans l'environnement provient de sources industrielles. Le benzène est utilisé comme solvant ou ingrédient dans la production de produits chimiques industriels, de produits pharmaceutiques, de détergents, de colorants, de pesticides et de plastiques (HSDB, 2005; Santé Canada, 2009). Le benzène peut être rejeté dans l'environnement à n'importe quelle étape de la production, de l'entreposage, de l'utilisation ou du transport de benzène purifié, de pétrole brut ou d'essence (Environnement Canada et Santé Canada, 1993). Actuellement, la plupart des émissions atmosphériques totales de benzène proviennent des gaz d'échappement des véhicules à essence et diesel (76 %). Les autres émissions proviennent du benzène ou d'autres sous-produits chimiques (6 à 8 %) et des gaz libérés lors de la combustion du bois de chauffage (4 %) (Environnement Canada et Santé Canada, 1993). Le benzène dans le sol peut provenir de fuites d'essence ou d'hydrocarbures, de fuites de réservoirs de stockage ou de fuites de sites de stockage et d'élimination des déchets (Environnement Canada et Santé Canada, 1993). Ces émissions peuvent également entraîner une contamination des eaux souterraines. La contamination par le benzène des eaux de surface peut provenir de déversements de produits chimiques ou de pétrole, ou d'eaux usées industrielles ou municipales (Environnement Canada et Santé Canada, 1993). La pollution de l'environnement par le benzène peut être liée à la coprésence de toluène, d'éthylbenzène et de xylène (communément appelé mélange de BTEX).

I.1.3 l'Acétone

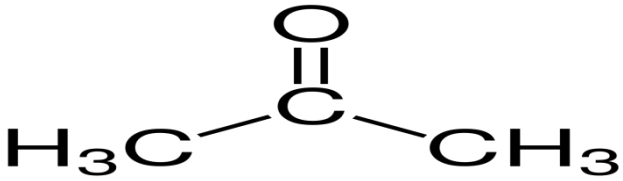


Figure I.2 : Formule d'Acétone

L'acétone est un liquide transparent, très inflammable et volatil, utilisé comme solvant et intermédiaire de synthèse. De formule **C3H6O**, il dégage une odeur caractéristique, à la fois âcre et aromatique. Sa double liaison carbone-oxygène et la présence d'atomes d'hydrogène en position alpha (α) lui confèrent une forte réactivité à de nombreux produits. Stable dans des

conditions usuelles, l'acétone peut ainsi réagir vivement avec les agents oxydants puissants comme l'acide chromique, l'acide nitrique chaud, le permanganate de potassium, le péroxyde d'hydrogène, certains hydrocarbures halogénés (trichlorométhane, tribromométhane...) ou encore en présence d'une base forte (par exemple hydroxyde de sodium ou de potassium). Non corrosive pour les métaux, elle attaque certaines matières plastiques.

L'acétone peut causer une sévère irritation des yeux, des nausées, des vertiges ou une somnolence lors de l'inhalation de fortes concentrations de vapeurs (supérieures à 10.000 ppm).

I.1.4 L'Acétone, ou en trouve ?

L'acétone est une cétone endogène et se trouve généralement en très petites quantités dans l'urine et le sang. Des doses plus élevées sont observées chez les patients post-jeûne et diabétiques présentant une carence sévère en insuline (contrôle glycémique insuffisant). L'haleine fruitée de l'acétone est l'un des symptômes de l'acidocétose diabétique. Les acènes se produisent naturellement en tant que produit de décomposition des plantes, des arbres, des gaz volcaniques, des incendies de forêt et des graisses animales. On le trouve dans les gaz d'échappement des voitures, les cigarettes et les décharges. L'activité humaine produit plus que la nature. Faisant partie des produits issus de la distillation destructive du bois, du sucre, de la cellulose, etc., il existe toujours dans l'esprit du bois brut, dont beaucoup peuvent être récupérés par distillation fractionnée.

I.1.5 Utilisations de l'acétone

L'acétone est l'un des solvants organiques les plus utilisés, qui dissout les gommes, résines, dérivés de cellulose, graisses, huiles et caoutchoucs. Elle est utilisée dans de nombreuses formulations :

- Peinture, vernis, laque ;
- Décapant et diluant à peintures ;
- Colle et adhésifs ;
- Encre, teintures et leurs diluants ;

- Transport et le stockage de l'acétylène en bouteille de gaz comprimé.

Dans l'industrie chimique, l'acétone intervient dans de nombreux procédés :

- Fabrication de produits pharmaceutiques et cosmétiques (ex. : vitamine c, métamphétamine) ;
- Extraction des gras, huiles et cires ;
- Purification des sucres et des amidons (agent de précipitation) ;
- Purification de la paraffine ;
- Nettoyage et séchage de la verrerie en laboratoire ;
- Nettoyage et séchage des pièces électroniques ;
- Milieu réfrigérant en mélange de glace carbonique ;
- Fabrication de plexiglas (polyméthacrylate de méthyle) ;
- Fabrication de bisphénol a ;
- Fabrication de poudres explosives ;
- Fabrication et filage des fibres d'acétate de cellulose (ex. : colle à papier, bases de films photographiques, fibres synthétiques, rayonne, soie artificielle, viscose).
- Fabrication d'objets en résine renforcée de fibres de verre.

I.2 Méthodes de traitement & élimination des vapeurs des COV

Il y a de nombreuses Activités liées à l'émission de COV, elles appartiennent généralement aux secteurs industriels suivants:

- Industrie sidérurgique.
- Industrie alimentaire.
- Industrie du bois et plastique.
- Industrie des peintures, des vernis et des laques.
- Industrie bovine.
- Industrie pharmaceutique.

Et aussi il y a beaucoup Technologies pour le traitement des COV, ces technologies de traitement peuvent se diviser en deux grands groupes: **les destructives et les non destructives**.

Les traitements destructifs sont ceux où les COV sont transformés en d'autres substances par un procédé adéquat, tandis que les non destructifs consistent à séparer physiquement ou chimiquement les COV de l'air à traiter.

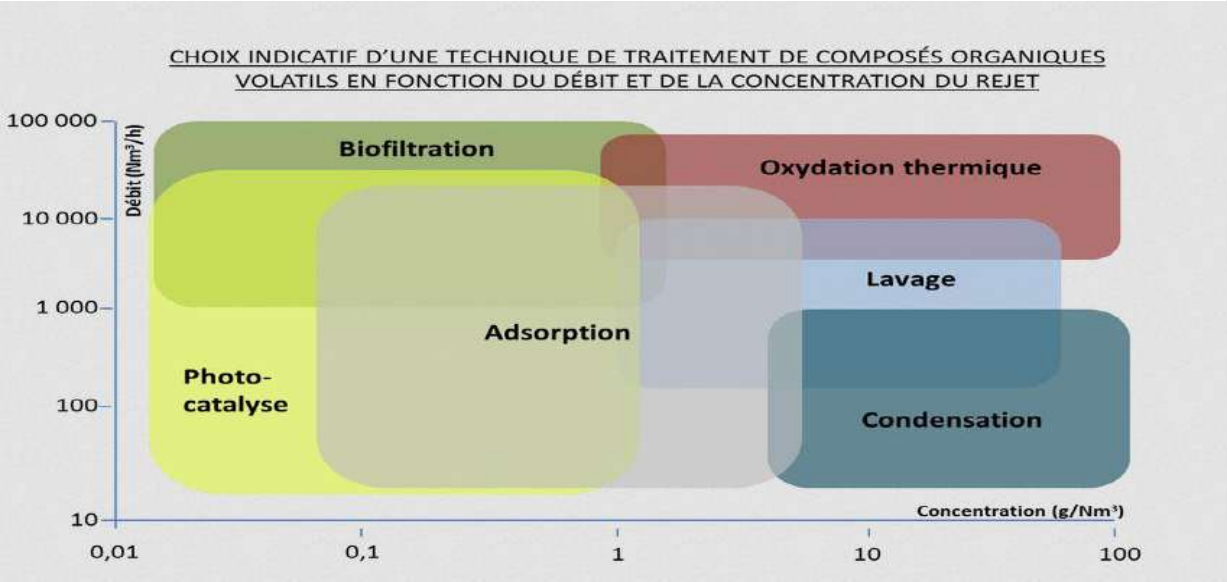


Figure I.3 : Les techniques de traitement de COV selon le débit et la concentration du rejet

I.2.1 Technologie destructrice

À l'aide de techniques destructives, les COV sont convertis en composés moins actifs ou moins toxiques que le composé d'origine. Voici des exemples de ces techniques destructrices :

1) Oxydation Thermique Régénérative (RTO)

Il s'agit d'une technique oxydante qui est réalisée à l'intérieur de, normalement, entre 2 et 3 tours, remplies de matière céramique, dans lesquelles se produit l'oxydation des contaminants. Pendant ce processus, les COV s'oxydent et se transforment en CO2 et H2o.

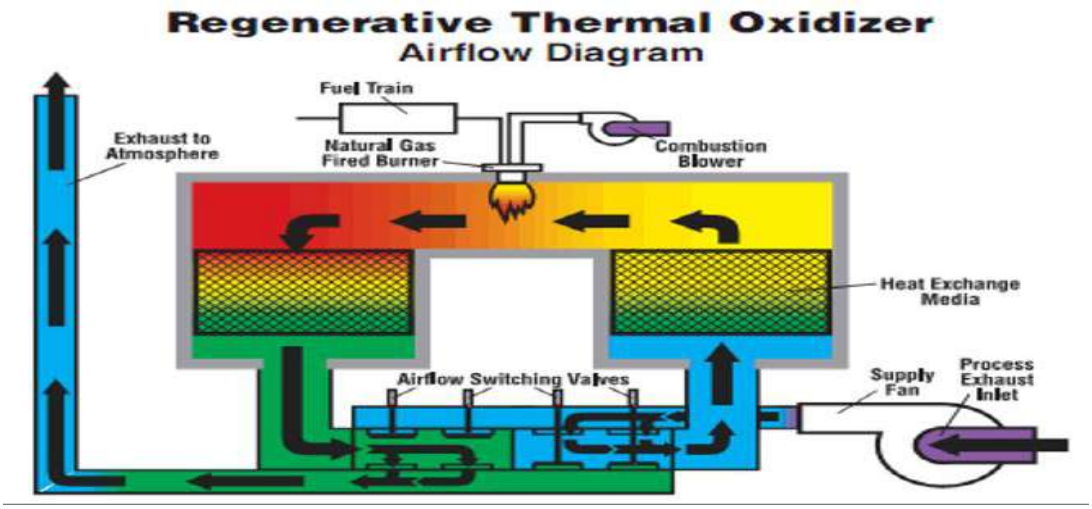


Figure I.4 : Diagramme de Flux d'Air (RTO)

Le rôle de la matière céramique est de retenir et de céder la chaleur de combustion à l'air traité lors des cycles de processus successifs.

Avec ces tours on obtient une efficacité de récupération thermique supérieure à 95%. Il s'agit donc d'une technologie avec une consommation de combustible réduite et si la concentration des dissolvants est supérieure à 1,5 – 2 g/Nm3, le processus peut devenir auto thermique avec une consommation pratiquement nulle.

La température de travail se situe entre 750 et 1250 º C.

Il s'agit d'une technique très versatile concernant le débit à traiter (1.000-100.000 Nm3/h), idéal pour des cas avec une concentration de COV moyenne-élevée et optimale pour une grande variété de COV.

2) Oxydation Thermique de Récupération

L'oxydation thermique de récupération est une technologie plus simple avec un coût d'investissement inférieur mais des frais de gestion supérieurs.

Elle consiste en un foyer de combustion avec un bruleur et un échangeur de chaleur où l'air d'entrée est chauffé et l'air épuré se refroidit. Cette technique permet d'obtenir une efficacité de récupération thermique de l'ordre de 65%.

3) Oxydation Catalytique Régénérative (RCO)

Dans l'oxydation catalytique, la principale différence avec la RTO est que la combustion est obtenue avec des températures plus basses (200-400ºC) à cause de la présence d'un catalyseur dans la chambre de combustion. Ces appareils sont compacts, ils occupent moins d'espace et comme ils fonctionnent à une température inférieure ils consomment moins de combustible que l'oxydation thermique de récupération. Pour appliquer cette technologie il faut avoir bien caractérisé les dissolvants, car il peut y avoir certains produits qui contaminent le catalyseur et obligent à le remplacer.

Le système présente une efficacité thermique supérieure à 98% et ne consomme pas de gaz lorsqu'il atteint le point auto-thermique. Il s'agit d'une technique idoine pour des débits d'air bas ou moyens (1.000-30.000 Nm3/h) et pour des concentrations de COV moyennes ou basses, qui présente un faible coût de fonctionnement.

4) Oxydation avancée de la phase gaz (GPAO)

Cette technique se compose de 4 étapes. Dans la première étape, l'air à traiter est soumis à un processus d'absorption dans l'eau et l'ozone. Les gaz solubles qui sont dissous dans l'eau sont oxydés par l'ozone au CO2. Dans l'étape 2, aux gaz résultant de l'étape 1 est ajouté l'ozone et le mélange est irradié à la lumière ultraviolette à haute intensité. L'ozone se transforme en radicaux OH, lesquels sont extrêmement réactifs aux COV. Suite à l'oxydation, il se produit un aérosol de particules, lesquelles sont séparées dans l'étape 3 grâce à un filtre électrostatique. L'air qui en résulte, qui ne contient pas de VOC ni d'odeurs, peut être libéré dans l'atmosphère. Finalement, dans l'étape 4 l'ozone en trop est transformé en oxygène grâce à un catalyseur.

Il s'agit d'une technique robuste pour une grande variété de COV, idéal pour des débits faibles, avec un faible coût de fonctionnement et une efficacité énergétique élevée.

Pour toutes les techniques d'oxydation il faut prendre en compte que, en présence de composés colorés et autres halogènes, ceux-ci se transforment en produits du type HCI qui ne peuvent pas être émis vers l'atmosphère. Par conséquent, en présence d'halogènes il est nécessaire de placer à la suite, un scrubber pour traiter les émissions acides produites.

5) *Bio filtrage*

Pour des cas plus ponctuels, quand on travaille avec des concentrations faibles et uniformes dans le temps, de dissolvants biodégradables et solubles en eau, il y a la possibilité d'utiliser le bio filtrage dans lequel ce sont des microorganismes qui se chargent de dégrader la matière organique. Le bio filtrage, bien qu'il se caractérise par des frais de gestion bas, présente également quelques inconvénients du fait que les microorganismes ont besoin de conditions stables humidité, de température et d'alimentation, et au cas où ces conditions sont modifiées brusquement, cela entrainerait un risque pour le substrat.

6) *Absorption par charbon actif*

(Il s'agit de la technologie la plus répandue de ce groupe.)

Elle se base sur le fait de laisser passer l'air au travers d'un lit de charbon actif qui retient les COV. Le charbon actif se charge de COV et il arrive un moment où il est saturé et il perd sa capacité absorbante.

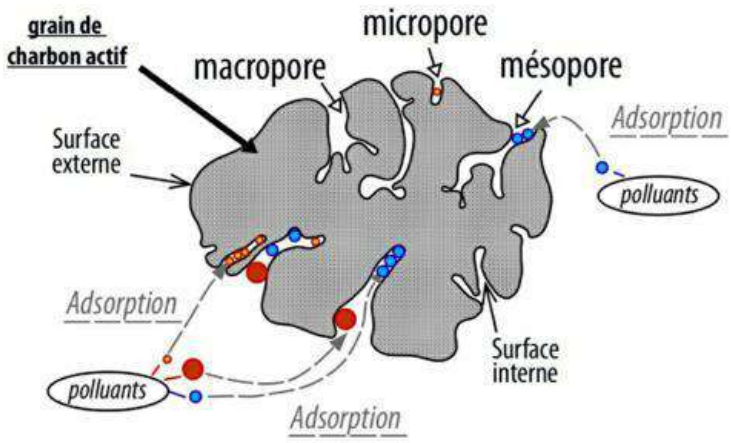


Figure I.5 : Simulation d'absorbation par un grain de Charbon actif

À ce moment, il est possible de détacher ce charbon, le traiter en tant que déchet et le remplacer par un nouveau, ou bien régénérer le charbon avec de la vapeur ou un gaz inerte (azote), ce qui permet de récupérer les dissolvants et les réutiliser dans le processus de production.

7) Condensation Cryogénique

C'est un processus basé sur le refroidissement à températures extrêmement basses de l'air à traiter, par azote liquide ou un autre fluide cryogénique. L'air contaminé se refroidit dans les condensateurs, en dessous de son point de condensation, ce qui produit la condensation des COV et sa séparation de la phase de gaz.

Cette technologie est utile non seulement utile pour l'épuration d'émissions avec COV, mais elle permet aussi la condensation et la récupération de matières premières couteuses et polluantes qui se trouvent généralement dans les émissions de processus où sont impliqués des dissolvants organiques.

La cryocondensation est une méthode propre, non destructive, car elle récupère à l'état liquide les émissions de vapeur qui allaient être envoyées vers l'atmosphère. Pour cette raison, on effectue la réfrigération contrôlée des vapeurs de processus d'une certaine substance, jusqu'à atteindre son point de condensation, c'est à ce moment que commence sa condensation.

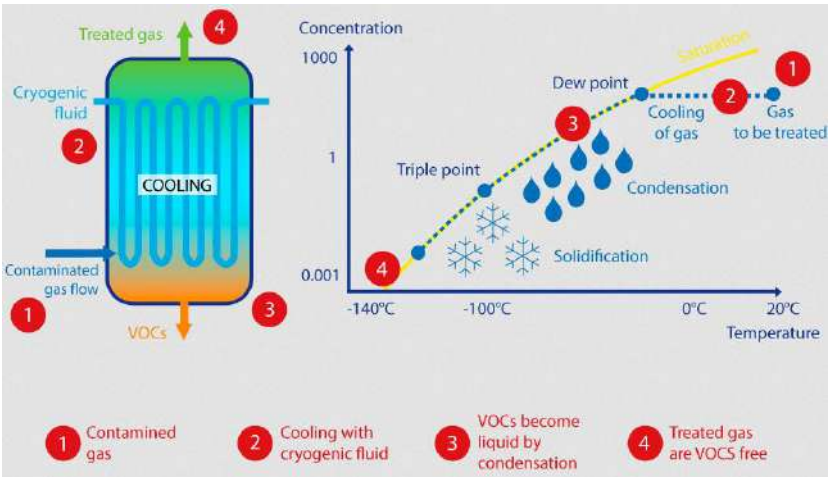


Figure I.6 : Simulation de Condensation Crygénique

Par le biais d'une colonne de condensation, qui est traversée par le courant d'air contaminé par les COV, un flux d'azote liquide circule à contre-courant, lequel refroidit l'air avec la substance volatile à une température inférieure à celle de condensation (on peut atteindre les -200 ºC). Cela produit la congélation e l'humidité de l'air et on obtient un produit liquide qui peut être réutilisé en processus. L'azote utilisé peut être réutilisé grâce à une petite station de compression pour l'utiliser en tant que gaz en fabrication ou il peut être déversé dans l'atmosphère s'il n'a aucune utilité.

La gamme de produits disponibles couvre une grande variété de dissolvants à récupérer, comme par exemple, le toluène, l'acétone, le méthanol, des dérivés de chlore, des hydrocarbures, etc.

La cryocondensation permet de traiter différents courants, débits et pressions et même de concevoir des systèmes sur mesure pour chaque cas. Comme nous l'avons déjà dit, il est possible de réutiliser les dissolvants condensés, ainsi que l'azote produit.

Comme agent réfrigérant on utilise de l'azote liquide qui, grâce à ses propriétés, permet la condensation de toutes les substances considérées COV, dans un intervalle compris entre -30 et -120 ºC.

La température de condensation est déterminée par les composés à traiter et par les ppm que l'on souhaite atteindre dans le courant d'émission.

8) Absorption physique / chimique

L'absorption physique/chimique consiste à retenir des contaminants dans une solution aqueuse qui s'écoule à contre-courant à l'intérieur de tours de lavage. On peut ajouter à la solution aqueuse de traitement un réactif qui réagit avec le contaminant pour ainsi favoriser son élimination. Les tours de lavage doivent être accompagnées d'un système pour le traitement de l'eau qui a absorbé les contaminants. Dans le cas des COV, cette technologie est applicable dans les cas où les produits sont solubles dans l'eau (acétone, alcools, etc.).

I.2.2 Autres Technologies

Il y a aussi des technologies mixte pour le traitement des vapeurs comme :

1) Roto-concentrateur à Zéolite + RTO

Cette technique se base sur le fonctionnement d'une roue avec un matériel poreux (Zéolite) dans laquelle, grâce à un processus d'absorption, les COV s'accumulent afin d'obtenir une plus grande concentration. Ensuite, les COV sont traités dans une unité d'oxydation thermique de récupération (RTO).



Figure I.7 : Roto concentrateur par Babcock Wanson

Elle est idéale pour traiter des débits d'air très élevés (> 10.000 Nm3/h) avec une concentration de COV très faible (< 1g/Nm3), car cela réduit considérablement la quantité de combustible consommée, grâce à l'utilisation préalable du roto-concentrateur, qui consiste en une « roue » remplie de zéolites qui absorbent les COV de l'air d'entrée, afin d'obtenir à la sortie un air qui est déjà épuré.

Une petite part de l'air épuré (entre un dixième et un quinzième) est chauffé à 200 ºC et il passe à contre-courant pour désorber les COV retenus dans les zéolites. On obtient ainsi un débit d'air 10 à 15 fois inférieur avec une concentration 10 à 15 fois supérieure. Cet air est ensuite envoyé à l'unité d'oxydation (RTO) pour être épuré.

2) Évapo-Oxydation

Il s'agit d'un procédé d'épuration des eaux usées qui joint la séparation thermique des substances solubles dans l'eau avec l'épuration des substances organiques volatiles.

Les déchets appropriés au traitement par évapo-oxydation sont des eaux à caractère organique (non halogénés), avec une présence ou non de sels et autres composés inorganiques (dérivés d'azote, de souffre…), pouvoir calorifique inférieur (PCI) faible, qui ne présentent pas de caractère inflammable ni de dissolvants et avec des valeurs de DQO significatifs.

Dans une première phase, l'effluent est soumis à un processus d'évaporation, qui produit une vapeur d'eau qui contient les substances volatiles, car celles-ci ont un point d'ébullition plus bas que l'eau. Elle contient également toutes les substances qui forment des mélanges azéotropes.

Après cette première étape, la vapeur obtenue est envoyée, avec les substances volatiles, à une chambre d'oxydation, où cette vapeur est brulée, ce qui évite son émission vers l'atmosphère et son action polluante.

Ainsi, l'oxydation thermique de la vapeur permet de détruire complètement les composés volatiles qui se trouvaient dans l'effluent.

Une autre option possible est de mettre à profit ces composés volatiles (à condition qu'ils soient présents en grande quantité) pour réaliser un processus auto thermique, car ils produisent suffisamment de chaleur lors de leur combustion pour ne pas avoir besoin de chaleur externe. On peut ainsi obtenir l'énergie nécessaire pour alimenter le processus.

D'autre part, le premier processus d'évaporation auquel est soumis l'effluent, avant la phase d'oxydation de la vapeur, a pour résultat un concentré des déchets organiques qui se trouvaient dans l'effluent, qui peuvent être envoyés à l'entreprise de gestion des déchets ou être soumis à une seconde phase de concentration afin d'être récupérés et valorisés.

Il convient de signaler qu'il est également possible d'utiliser le procédé d'évapo-oxydation dans des vapeurs avec peu de pouvoir calorifique, ainsi que pour l'élimination de substances odorantes.

Bien qu'il s'agit d'un procédé qui offre de très bons résultats, l'évapo-oxydation n'est pas la seule technologie pour traiter les effluents qui contiennent des COV. Une variante de ce processus se trouve dans le stripping en colonnes avec vapeur ou air chaud à contre-courant, pour ensuite utiliser des systèmes d'OTR pour l'oxydation thermique des composés volatiles.

I.3 Les impacts des COV

I.3.1 Sur la santé

Les COV ont un double effet sur la santé :

- **Un effet indirect en agissant sur l'ozone** :

En tant que précurseurs de ce gaz dans l'air : les conséquences de cette surproduction d'ozone pour la santé varient selon le niveau d'exposition, le volume d'air inhalé et la durée de l'exposition. Plusieurs manifestations sont possibles : toux, inconfort thoracique, gêne

douloureuse en cas d'inspiration profonde, mais aussi essoufflement, irritation nasale, oculaire et de la gorge. Ces effets diffèrent toutefois en fonction des individus et de l'état de santé ;

- **Un effet direct en tant que substance toxique** :

Jusqu'à des niveaux de gravité extrêmes justifiant une classification rigoureuse. Les COV les plus nocifs, comme le benzène, sont classés **CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique)**. Ils font l'objet d'une réglementation renforcée, notamment dans le code du travail, dont les dispositions imposent à l'employeur de le substituer, ce qui prévaut sur toutes les autres mesures de réduction du risque (article R.4412-59 et suivants).

Il est donc impératif de prendre les plus grandes précautions avant toute manipulation ou exposition de ces composés et de consulter toutes les informations disponibles sur un produit dont l'emploi est envisagé. Il existe pour cela les fiches techniques du fabricant, les fiches de données de sécurité (FDS) et les fiches toxicologiques (FT)

Le benzène fait partie de la sous-famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Il est classé cancérogène avéré (groupe 1) par le CIRC pour les leucémies. Il provient de processus de combustion (dont le tabagisme), du transport routier, et d'activités industrielles. Ses émanations sont présentes aux abords des stations service. Dans les lieux clos, le benzène résulte à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique notable dans les agglomérations et zones industrielles. Les sources propres aux lieux clos comprennent les combustions domestiques telles que le tabagisme, la cuisson des aliments, le chauffage des locaux hors chauffage électrique, ou l'utilisation de bougies et d'encens ; divers produits (matériaux de construction et d'ameublement, produits de bricolage et d'entretien) présents dans l'environnement intérieur sont également susceptibles de contenir du benzène. L'air intérieur contribue donc de manière importante à l'exposition de la population au benzène. L'inhalation est la principale voie d'exposition au benzène.

I.3.2 Sur l'environnement

Dans l'atmosphère, les composés organiques volatils se dégradent et contribuent à perturber les équilibres chimiques avec, pour conséquence, la formation ou l'accumulation d'ozone. Les COV sont des **polluants directs pour les hommes et les végétaux**, et contribuent également à la pollution olfactive. Ils sont aussi des précurseurs de l'ozone dans l'air en provoquant de

nombreuses réactions chimiques. Cette surproduction d'ozone a un effet néfaste sur la végétation (altération de la résistance des végétaux, par exemple) et accélère la dégradation de certains matériaux comme le plastique.

Ces réactions chimiques provoquent un **effet de serre additionnel**, en captant les infrarouges réfléchis par la surface de la Terre au niveau de la troposphère. Or, celle-ci est beaucoup moins stable que la stratosphère, dans laquelle l'ozone à un rôle protecteur contre les ultraviolets. C'est pourquoi il est important de faire la différence entre le « mauvais » ozone (troposphère) et le « bon » ozone (stratosphère).

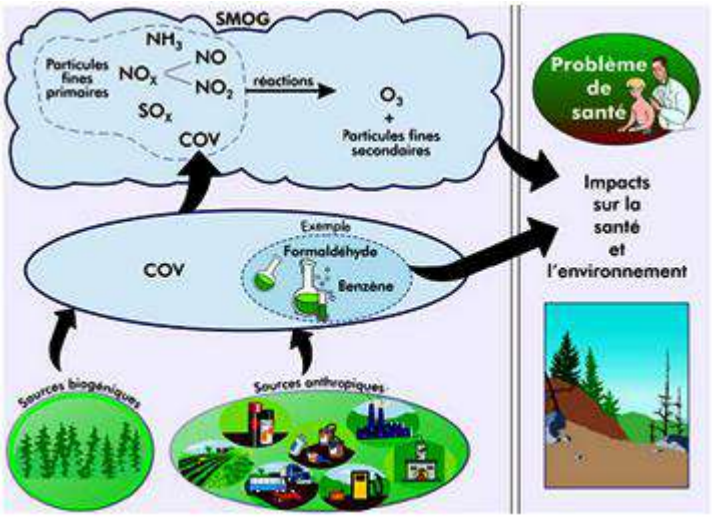


Figure I.8 : Dessin explicatif montrant le cycle des COV

1.1 Les effets sur les bâtiments

Les retombées acides dégradent de nombreux matériaux, en particulier les roches calcaires utilisées dans la construction des bâtiments ou des monuments, qui sont dissoutes par les pluies acides.

1.2 Les effets sur la faune et la flore

La présence dans l'air de substances toxiques perturbe la faune et la flore.

Le lessivage des composés acides par les précipitations permet un transfert de la pollution atmosphérique vers une pollution des eaux ou des sols.

II. Simulation de la dispersion des gaz volatiles.

II.1 La dispersion des polluante (COV) dans l'atmosphère :

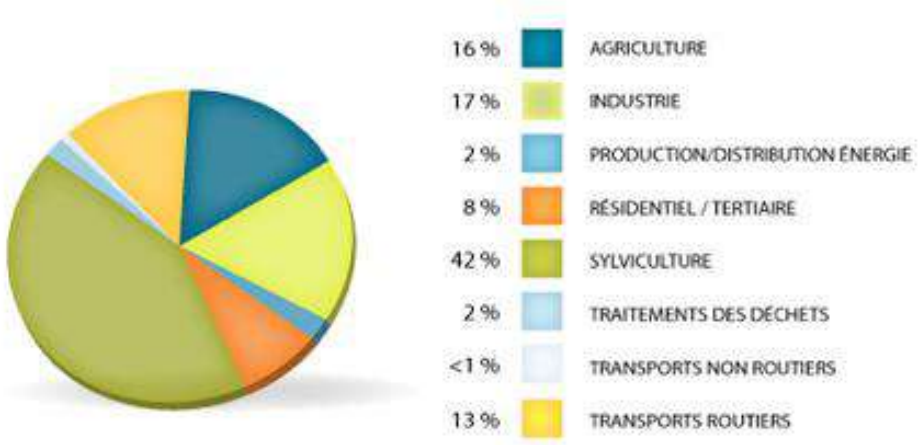


Figure I.9 : Les sources les plus importants de COV dans un pays européen en 2001 (Source : CELINE)

II.1.1 Qu'est-ce que la pollution atmosphérique ?

La pollution de l'air est un phénomène complexe qui a fait l'objet de multiples définitions. Au fur et à mesure que les connaissances progressent, le terme pollution recouvre des réalités de plus en plus diverses. D'une manière générale, la pollution de l'air se définit par les conséquences qu'elle engendre, du simple inconfort olfactif aux dangers mortels.

Selon certaines autorités, la notion de pollution ne correspond qu'aux conséquences des activités humaines, alors que d'autres incluent la pollution d'origine naturelle (activité volcanique, feux de forêt, etc.).

Les concentrations de polluants dans l'atmosphère fluctuent dans le temps

Le temps et l'espace sont basés sur les paramètres suivants :

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

II.1.2 Sources des polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques peuvent être d'origine naturelle ou anthropique :

II.1.2.1 Sources naturelles

A côté des éléments de base, l'atmosphère renferme, une quantité variable de substances naturelles qui, dépassant un seuil, crée une source de pollution à savoir :

- Les feux de forêts, de cultures ou des prairies contribuent à des émissions importantes de noyaux de condensation, d'imbrûlés et de gaz.
- Émettent des gaz comme le dioxyde de soufre, de l'hydrogène sulfureux et des particules de cendres en grande quantité.
- Les embruns marins sont constitués par des aérosols (des cristaux de sels) Les végétaux sont à leur tour à l'origine d'une pollution par les pollens, les spores et les champignons
- L'ozone formé naturellement à haute altitude à partir de réaction photochimique impliquant l'oxygène de l'air.

II.1.2.1 Sources Anthropiques

Les émissions anthropiques sont appelées émissions atmosphériques anthropiques. Ainsi, la plupart des activités humaines sont à l'origine d'émissions directes ou indirectes de grandes quantités de polluants.

- L'industrie est l'un des principaux secteurs d'émissions atmosphériques telles que le dioxyde de soufre (SO2), les poussières, les métaux lourds, les composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote (NOx).
- Le transport, qu'il soit aérien, maritime ou terrestre, émet de grandes quantités de NOx, de particules (PM) dans les gaz d'échappement, de monoxyde de carbone (imbrûlé), de COV, etc.
- La combustion et l'incinération émettent également des métaux, dioxines, COV, COx, aérosols, etc.
- Le secteur agricole est une source majeure d'émissions de poussières et d'ammoniac (NH3) du fait de l'utilisation et de l'épandage de produits phytosanitaires.
- Activités ménagères, utilisation de produits phytosanitaires, peintures, produits ménagers, cuisine... nous émettons tous des polluants atmosphériques (COV).
- Le chauffage est également la source de la plupart des émissions de SO2, CO, NOx et PM. Même les climatiseurs génèrent indirectement des émissions en raison de leur forte consommation d'énergie et si le gaz réfrigérant n'est pas récupéré.

II.2 Différents types de dispersion :

Les sources de polluants atmosphériques varient selon la nature (accidentelle, chronique) ou la source (naturelle, artificielle).

De nombreux mécanismes naturels libèrent des composés nocifs pour l'homme et perturbent certains équilibres fragiles. La contribution des émissions humaines aggrave fortement les conséquences de cette pollution, en particulier dans les zones urbaines à forte densité de population. De par leur nature, les émissions anthropiques ont des impacts très différents.

Les principales sources de pollution atmosphérique sont : Émissions naturelles, émissions agricoles, émissions industrielles, émissions des ménages, émissions des transports.

II.3 Conséquences :

La dispersion des polluants dépend fortement des conditions météorologiques locales :

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

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

En conclusion, nous révélerons où se situe la modélisation dans ce système de solutions.

II.1 Évaluation et prédiction des effets de la dispersion de (COV) sur la population dans l'air urbain à l'aide de logiciel de simulation ANSYS (CFX)

Nous avons choisi le cas d'une source d'émission de Benzène provenant d'un pot d'échappement d'un véhicule stationné dans une agglomération urbaine. Pour ce faire, nous avons procédé à la réalisation de différentes architectures de bâtiments et modification de relief du sol avec changement de position de la source d'émission par rapport à ceux-ci et ce afin de suivre le phénomène de dispersion de ce polluant en fonction des variations des hauteurs des bâtiments et le niveau du sol. D'autres paramètres de dispersion, tels que (Habet and Benrachedi 2015) la vitesse de dispersion a également été étudiée afin de mieux interpréter les résultats de la simulation. Les géométries des bâtiments étudiées sont réalisées selon l'architecture actuelle des villes algériennes et en particulier la ville de Médéa. Les hauteurs maximale et minimale des bâtiments étudiés étaient de 18 et 12 m. Le nombre de bâtiments pris en considération est de quatre. Il a été estimé qu'entre ces quatre bâtiments il y a des trottoirs et une route à deux voies de six mètres et demi, avec une distance totale de 8 m entre les deux bâtiments. La direction de dispersion des polluants a été prise dans la même direction que le vent dominant. La ville de Médéa est considérée comme une ville montagneuse et les quatre bâtiments sont situés à côté d'une montagne qui piège le flux de la pollution rejetée par les voitures. Les bâtiments sont implantés sur un terrain de 7500 m^2. Pour la modélisation de la pollution du gaz de benzène, deux cas ont été supposés. Dans tous les cas, il a été considéré que la route était entre des bâtiments de même hauteur. Dans le premier cas, on change la position de la source d'émission par rapport aux bâtiments et relief. Dans le second cas, le changement s'applique aux hauteurs des bâtiments (12 m) avec une source d'émission positionnée au milieu des bâtiments. La circulation des véhicules sur les différents itinéraires étudiés a été supposée moins encombrée. La simulation de la dispersion du benzène a été étudiée en mois de Septembre dans des conditions atmosphériques stables (jour ensoleillé, vitesse du vent 2 m/s selon les données de la station météorologique de sidi-mselem de Médéa, sans réaction photochimique conduisant à son élimination ou à la formation d`autres polluants secondaires.

Substance	Émission totale (millions de t)	Pourcentage dû au trafic (%)
Dioxyde de soufre	1	7.4
Monoxyde de carbone	8.25	73.8
Benzène	0.043	90

Tableau II.1 : Émissions de certains polluants en Europe (Pfeffer 1994).

II.1.1 Simulation numérique

Le code Ansys CFX, basé sur la méthode des volumes finis (FVM), font partie des modèles de boites noires qui représentent une relation physique entre des données d'entrées et de sorties désirées, a été utilisé pour la résolution des équations de conservation qui régissent le problème (Navier-Stokes et quantités de turbulence). Les calculs sont effectués à l'aide du modèle k-ϵ. Un modèle de turbulence k-ϵ standard a été utilisé pour la relation de paroi pour former les valeurs d'énergie cinétique de la turbulence et de la dissipation au premier point du réseau qui s'éloigne de la paroi (Stapleton et al. 2000). L'expérience numérique de simulation a été réalisée (L.-L. Li et al. 2020) sur le système d'exploitation Microsoft Windows 10 et le logiciel ANSYS Workbench 15.0. La configuration de l'ordinateur est spécifiquement décrite comme suit : (processeur Intel®Core™ i5-4210M, 2,6 GHz, 4 Go de RAM, 64 bits).

L'énergie cinétique turbulente k (m^2/s^2) est définie comme suit l'équation (II.1) (Myong and Kasagi 1990):

$$\boldsymbol{k = \frac{1}{2}\overline{u_i u_i} = \frac{1}{2}\left(\overline{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}\right)} \qquad \text{(II.1)}$$

Où $\boldsymbol{u_i}$ composante de vitesse flottante dans la direction i (m/s).

Le taux de dissipation ε de l'énergie cinétique k est calculé à partir de l'équation (II.2):

$$\boldsymbol{\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u_i \partial u_i}{\partial x_j \partial x_j}}} \qquad \text{(II.2)}$$

Avec υ Viscosité cinématique (m^2/s).

L'équation de transport de l'énergie cinétique turbulente k est donnée par l'équation (II.3):

$$\boldsymbol{k} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho k \overline{U_i}\right)}_{a} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]}_{b} + \underbrace{G_k}_{c} - \underbrace{\rho\varepsilon}_{d} \qquad \text{(II.3)}$$

a b c d

- a : Terme convectif
- b : Terme de diffusion
- c : Taux de production
- d : Taux de dissipation.

Avec $\boldsymbol{\rho}$ représente la masse volumique (kg/m^3), **k** énergie cinétique de turbulence (m^2/s^2), $\overline{U_i}$composante de vitesse moyenne dans la direction i (m/s), **μ** viscosité dynamique (kg/m.s) et $\boldsymbol{\mu_t}$ viscosité dynamique turbulente (kg/ m.s) donne par l'équation (II.4)

$$\boldsymbol{\mu_t} = \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \qquad \text{(II.4)}$$

L'équation (III.5) définit l'équation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ε :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho\varepsilon\overline{U_i}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad \text{(II.5)}$$

Le terme de production $\mathbf{G_k}$ est donné par l'équation (II.6)

$$G_k = -\rho\overline{u_i u_j}\frac{\partial \overline{U_j}}{\partial x_i} = \rho v_t\left(\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U_j}}{\partial x_i}\right)\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial x_j} \qquad \text{(II.6)}$$

L'adaptation des constantes standards du modèle donnée par (B.E.Launder and D.B.Spalding 1974) rend le système d'équations opérationnel. Ils sont regroupés dans le tableau II.2 :

constantes standards	C_μ	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	σ_k	σ_ε
Valeurs	0.09	1.44	1.92	1	1.3

Tableau II.2 : Valeurs des constantes du modèle k-ε.

Dans toutes les simulations numériques, la précision des résultats dépendait des modèles de turbulence, du traitement près de la paroi (y^+) appliqué, des critères de convergence, entre autres facteurs du solveur.

Le mur y^+ est une distance adimensionnelle similaire au nombre de Reynolds local. Dans le contexte de la CFD, il est utilisé pour décrire à quel point un maillage est grossier ou fin pour un flux particulier. Il détermine si les influences dans les cellules adjacentes à la paroi sont laminaires, transitionnelles ou turbulentes, indiquant ainsi la partie de la couche limite turbulente qui est résolue par (ANSY CFX). Il est décrit par l'équation II.7:

$$\boldsymbol{y^+ = \frac{u^* y}{v}} \qquad \text{(II.7)}$$

Où y est la hauteur entre la paroi et le milieu des cellules adjacentes aux parois, υ est la viscosité cinématique et u* est la vitesse de frottement.

Le préprocesseur ICEM associé à l'ANSYS est utilisé pour la construction du domaine de calcul et la génération de grille. Une grille structurée cartésienne non uniforme dans la direction de remorquage X et Y est utilisée. Une attention particulière a été portée à la génération, en particulier au traitement proche des parois. En raison de l'adaptation du réseau, il s'agit d'une étape majeure dans la validation du modèle pour une analyse future. Une attention particulière a été portée à la génération, en particulier au traitement proche des parois. Parce que l'adaptation de la grille est une étape majeure dans la validation du modèle pour une analyse future. Dans tous les cas, le choix de la configuration du maillage de la grille, par rapport au modèle de turbulence sélectionné, était basé sur la valeur de la distance adimensionnelle à la paroi y^+ calculée à l'aide de l'équation (II.7)

La grille a été ajustée plusieurs fois en fonction des valeurs y^+ des cellules proches de la paroi jusqu'à ce que les valeurs y^+ soient dans la plage limite. Après le premier nœud près de la paroi, le maillage est affiné pour capturer un gradient élevé de quantités de vitesse, de pression et de turbulence à proximité de la paroi. Pour chaque modèle de turbulence utilisé, une étude d'indépendance du maillage a été réalisée pour trouver le maillage qui permet un compromis entre la précision souhaitée et le coût de la solution en temps et en mémoire. À cette fin, trois tailles de maillage de résolution de grille significativement différentes ont été testées pour le modèle k-ϵ étudié, nommé maillage grossier, moyen et fin comme détaillé dans le tableau II.3. Pour les modèles de turbulence qui utilisent l'équation des fonctions de paroi (k-ε), la première cellule est placée dans la zone totalement turbulente (région loi log) juste après la couche tampon qui satisfait la condition $y^+ \approx 30$.

Cette recherche examine une application potentielle d'une nouvelle configuration pour prédire la concentration et les effets de la pollution de l'air, autour d'une agglomération urbaine,

générée par le pot d'échappement d'un véhicule en position d'arrêt à différents endroits à proximité de ces bâtiments. La figure II.1 montre les dimensions et les conditions de configuration pour le domaine d'étude, la figure II.2 montre les entrées et les sorties ainsi que le sens du vent pour le domaine d'étude en trois dimensions.

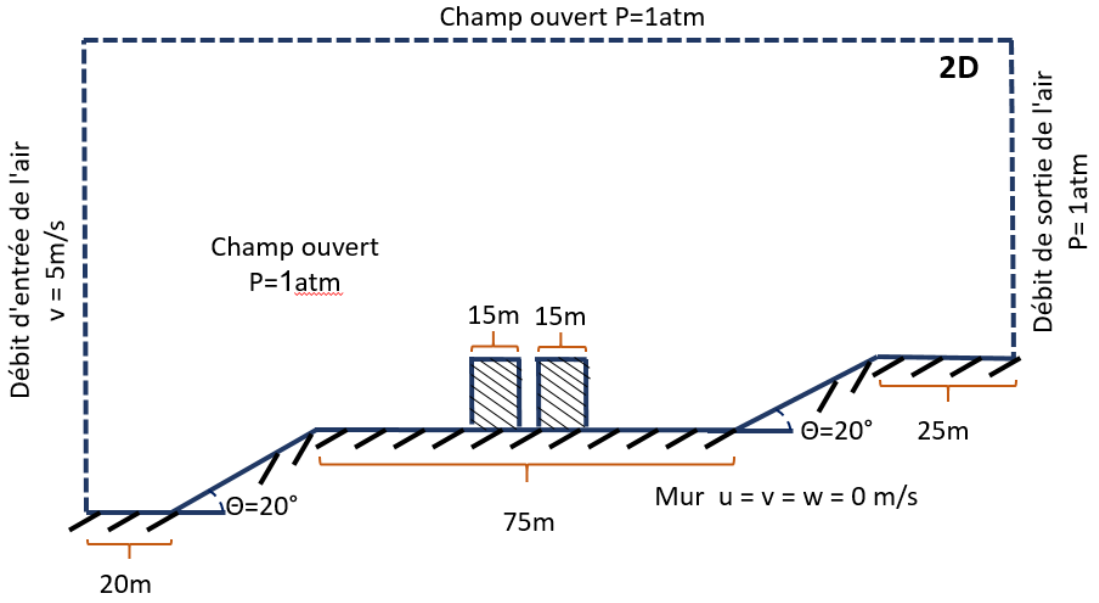


Figure II.1 : Dimensions et conditions de configuration en (2D).

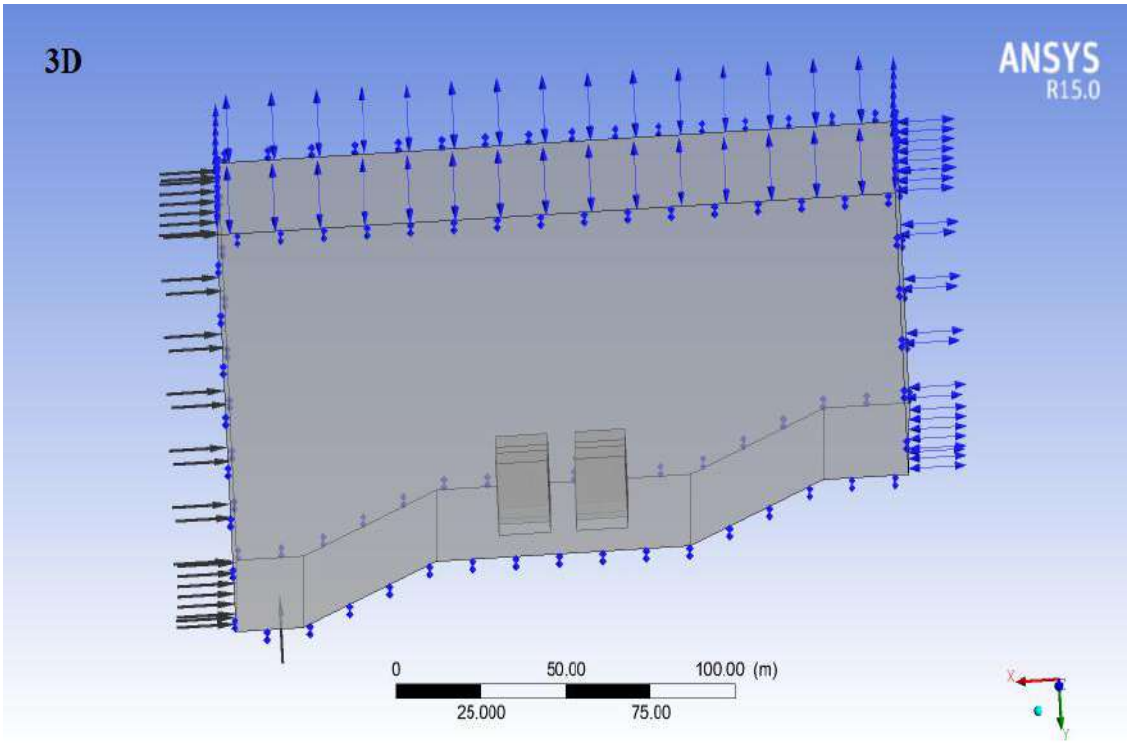


Figure II.2 : Le sens des entrées et sorties du domaine à étudier.

La figure II.3 montre le détail du maillage de la géométrie en (3D). L'ensemble du domaine était principalement composé de cellules triangulaires.

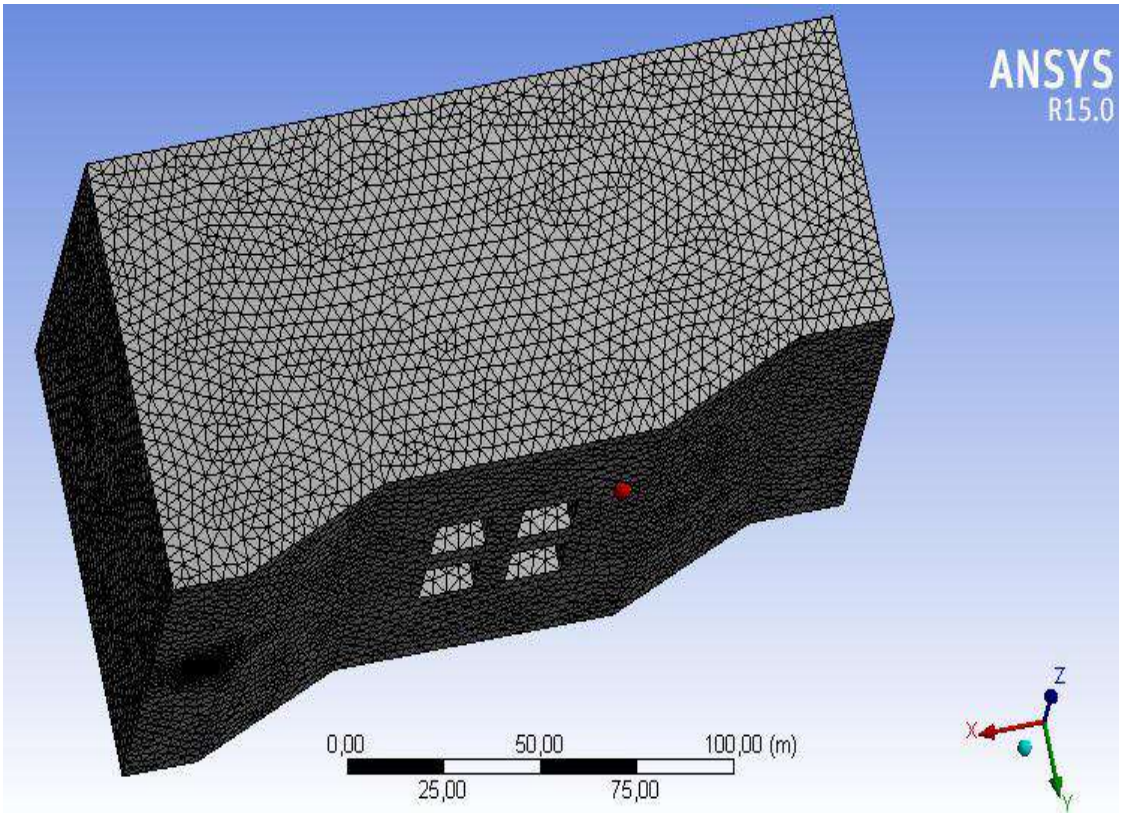


Figure II.3 : Détail du maillage final (Fin).

Les paramètres du maillage sont présentés dans le Tableau II.3 :

Tableau III.5 : Les paramètres des maillages utilisés.

Type de maillage	Statistiques	Détails			
		Source de gaz dispersée au milieu de 4 bâtiments (H18m)	Source de gaz dispersée à 7 m des façades des bâtiments (H= 18m)	Source de gaz dispersée située au niveau inférieur de l'axe des bâtiments (H18m)	Source de gaz dispersée au milieu de 4 bâtiments (H= 12m)
Fin	Éléments	185722	186648	188147	182256
	Nœuds	35388	35515	35757	34761
Moyenne	Éléments	59907	63115	63585	60376
	Nœuds	11733	12247	12327	11792
Grossière	Éléments	24488	27237	25859	25356
	Nœuds	4824	5220	4950	4945

II.1.2 Conditions initiales et aux limites

Dans les équations ci-dessous, v : est le champ de vecteur de vitesse d'écoulement en contact aux murs; C : est la concentration en gaz polluant et Q : représente le débit, Il est à noter que toutes les grandeurs de cette équation sont en unités SI. L'équation (II.8) définit la condition initiale, tandis que les équations (II.9), (II.10) et (II.11) définissent les conditions aux limites, validées dans les trois directions, à savoir x, y et z.

$$\mathbf{C|_{t=0} = 0} \qquad \text{(II.8)}$$

$$\mathbf{C|_{pollution\ source} = C^{sat}} \qquad \text{(II.9)}$$

$$\mathbf{Q|_{(inlet)} = Q_i} \qquad \text{(II.10)}$$

$$\mathbf{v|_{wall} = 0} \qquad \text{(II.11)}$$

Dans ce chapitre une simulation par ANSYS (CFX) de la dispersion de la concentration du Benzène émis par un tuyau d`échappement en fonction de plusieurs paramètres physico-

chimiques tels que, la géométrie des bâtiments installés dans un milieu urbain, la température, le nombre d`étages, et la direction du vent.

II.2 Simulation par ANSYS

II.2.1 Évaluation et prédiction par ANSYS CFX des effets de la dispersion de benzène sur la population dans un milieu urbain.

Quatre cas d`études avec différentes positions de source d'émission des rejets gazeux (Benzène) à partir d'un tuyau d'échappement d'une voiture arrêtée dans un embouteillage, ont été simulés et analysés. Dans les trois premiers cas d'études, on a supposé que les quatre bâtiments ont une géométrie identique, c'est-à-dire rez-de-chaussée plus cinq étages, avec une hauteur fixe de 18 m et les sources d'émission sont positionnées respectivement aux centre, en amont des bâtiments à une distance de 7 m par rapport aux façades et en dessous des bâtiments par rapport au niveau naturel du terrain. En ce qui concerne le quatrième cas, on a supposé que la hauteur des bâtiments soit de 12 m, rez-de-chaussée plus trois étages, avec une source d'émission positionnée au milieu.

Les paramètres concernés dans cette étude sont la fraction volumique et la vitesse de dispersion en (m/s) de fumées contenant du benzène dans le domaine d'étude.

La simulation de la dispersion du polluant étudié (C_6H_6) émis par le pot d'échappement d'un véhicule stationné au centre des quatre bâtiments dont la hauteur maximale est de 18 m, a montré que les teneurs de pollution les plus élevées sont concentrées en bas des immeubles à environ 6 m de hauteur (rez-de-chaussée plus le 1^{er} étages). Ces niveaux élevés $x = 1.9125.10^{-2}$ sont dus au fait que la source d'émission est entourée de bâtiments qui ralentissent la vitesse de la fumée, dans le sens du courant du vent. Par ailleurs, de faibles concentrations ont été remarquées près de la pente (figures II.4, II.5).

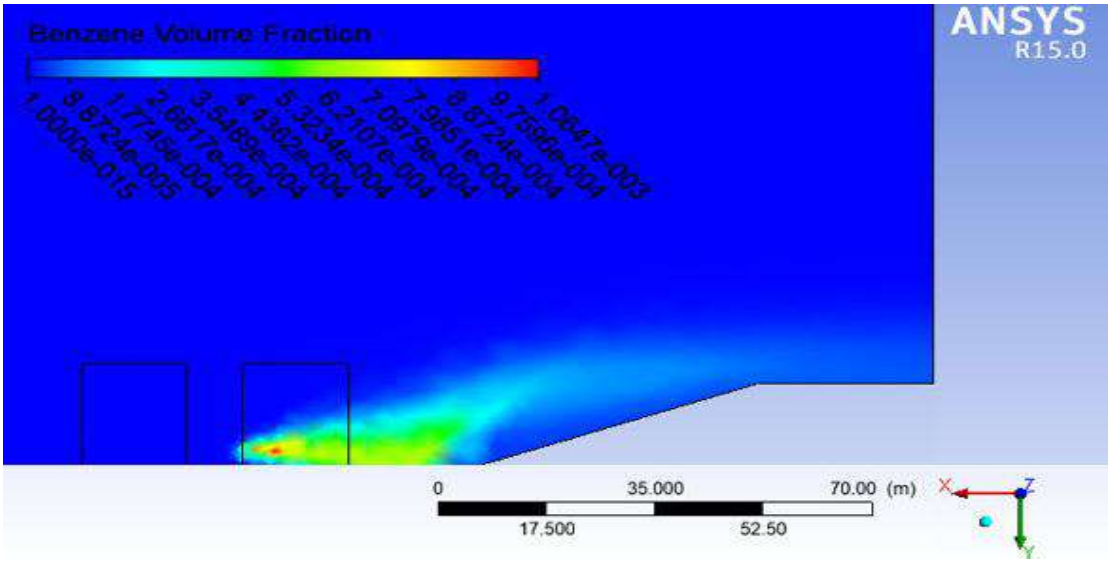


Figure II.4 : Profile de dispersion du gaz au centre des quatre bâtiments H = 18m.

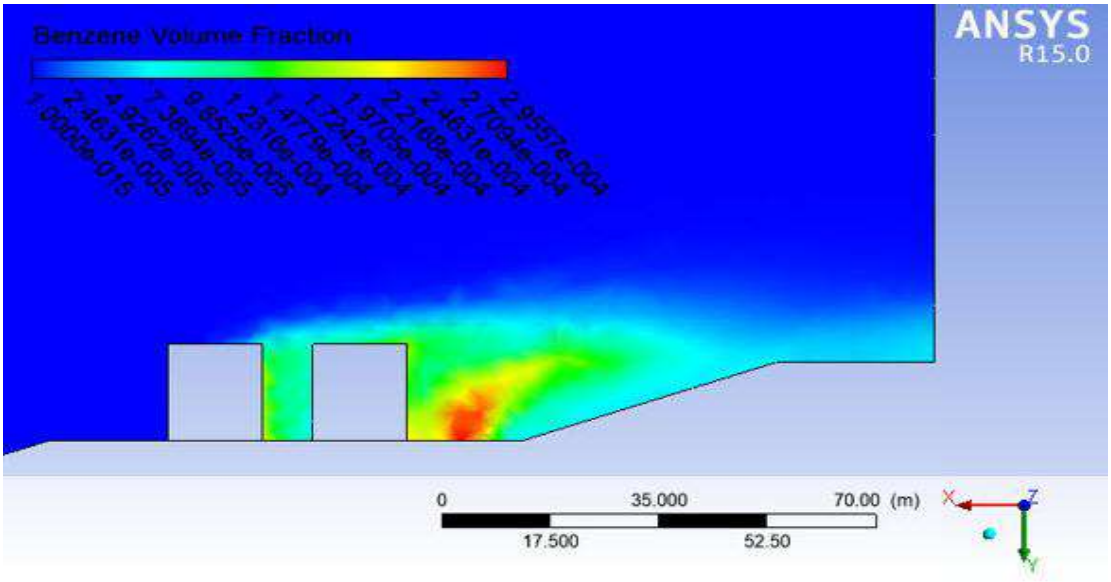


Figure II.5 : Profile de dispersion de gaz au milieu des bâtiments H = 18m.

On remarque aussi que la vitesse de dispersion est élevée au niveau de la source de pollution (Pot d'échappement) v= 4.90 $m.s^{-1}$, et diminue fortement près de la pente (v entre 1.24 et 2.07 $m.s^{-1}$) ce qui explique les faibles concentrations au niveau de la pente et l'accumulation de la pollution en aval des bâtiments. Aussi, en peut observer qu`il y a une petite élévation de la vitesse de dispersion du benzène v = 3.56 $m.s^{-1}$ entre les bâtiments et ça peut s`expliquer par la diminution de la surface du profile de dispersion entre les bâtiments (figures II.6).

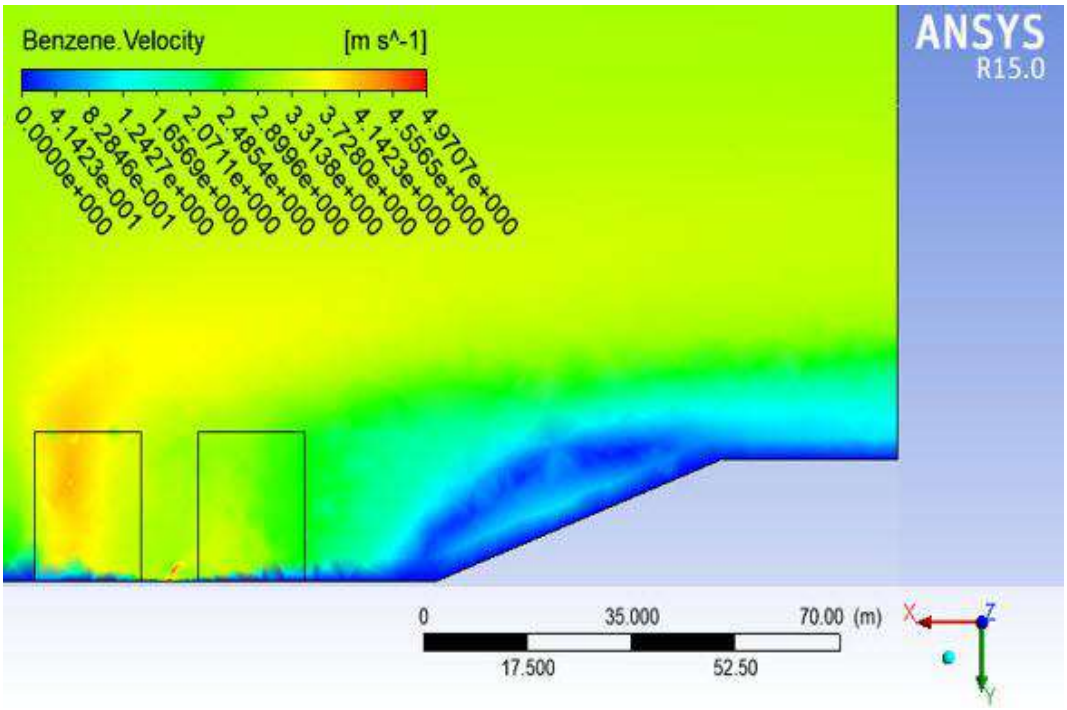


Figure II.6 : Vitesse de dispersion des gaz d'échappement au centre des bâtiments.

L'étude de la dispersion du benzène contenu dans les gaz d'échappement dans le cas où la source est située en amont des bâtiment à une distance de 7 m des façades, a montré que les concentrations les plus élevées se situent au niveau des bâtiments proches de la source émettrice, précisément aux niveaux des étages inférieurs x = 6.10^{-4} et au pied de la pente x =3.10^{-4} entraînant une stagnation et un ralentissement de l'écoulement des fumées tout en épousant le profil de la pente (figures II.7, II.8).

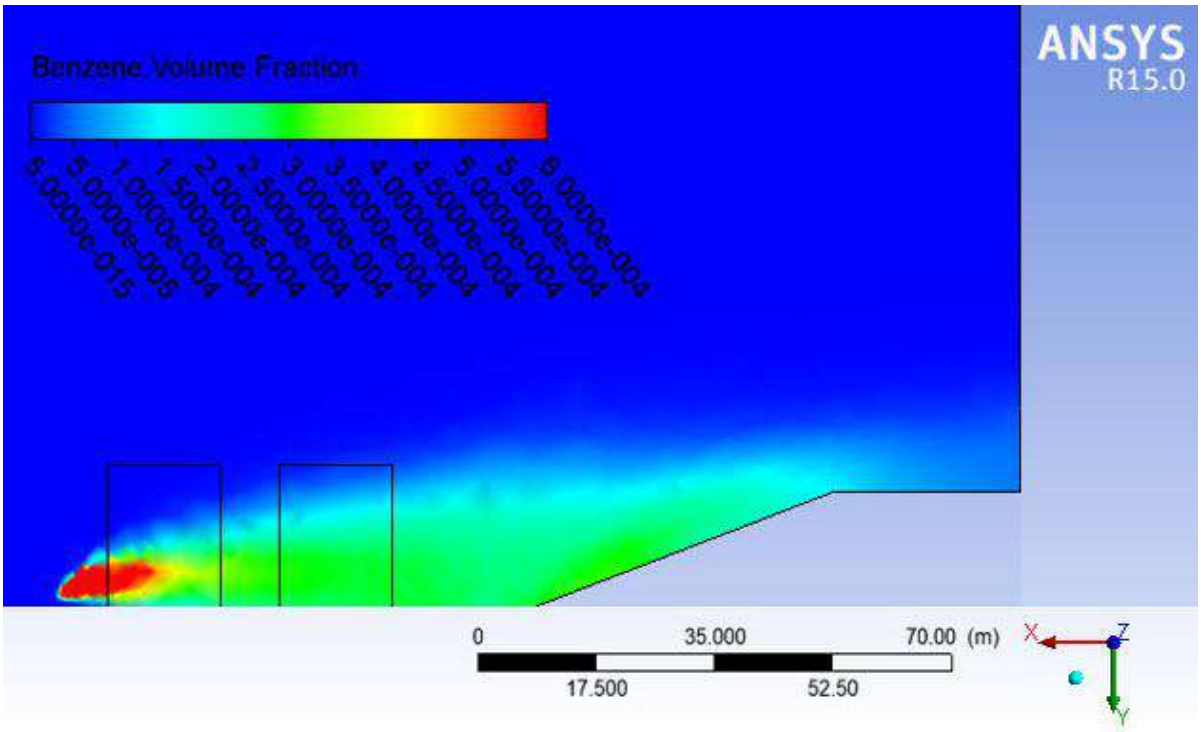


Figure II.7 **:** Dispersion de gaz dans l'axe à une distance de 7 m des façades des bâtiments.

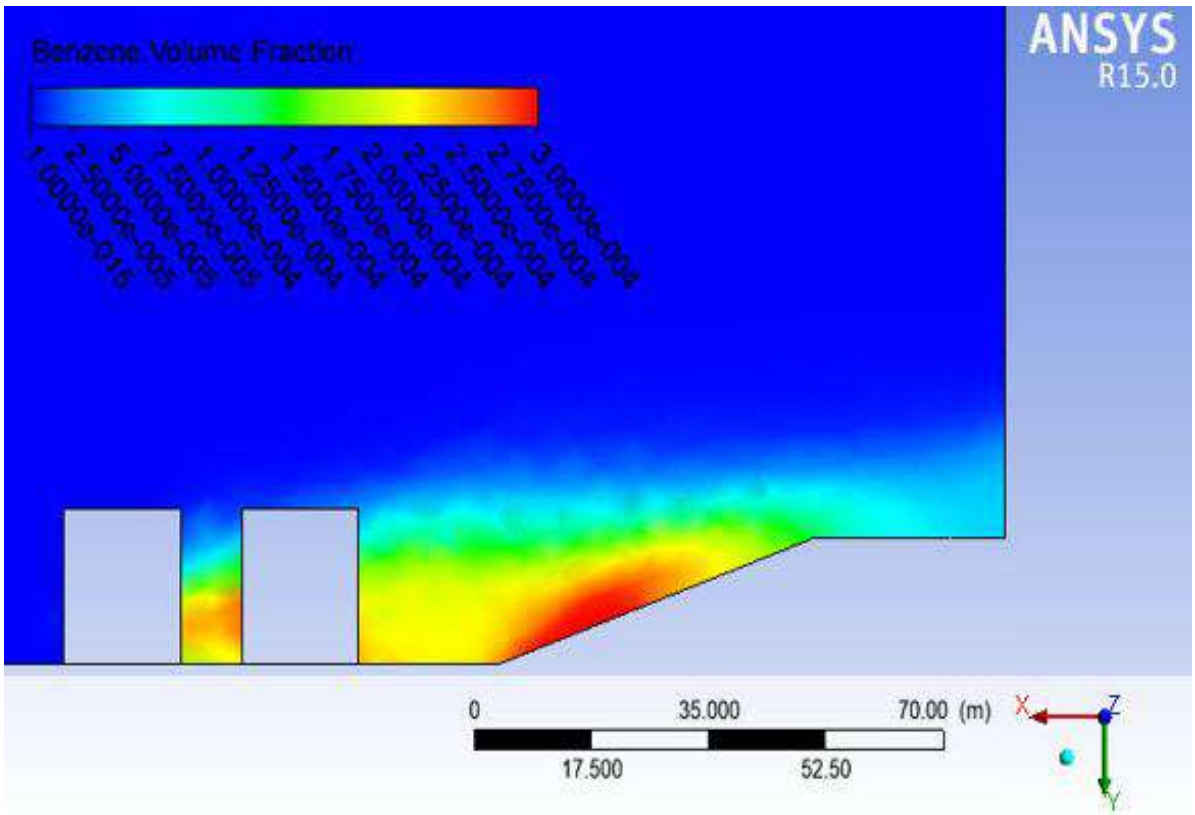


Figure II.8 : Dispersion du gaz à 7 m des façades des bâtiments.

L'étude de l'évolution de la vitesse de dispersion du benzène contenu dans les gaz d'échappement, confirme les concentrations élevées à 7 m de l'axe des façades des bâtiments, et entre les deux premiers bâtiments qui sont proches de la source de pollution, grâce à la diminution de la surface de dispersion, qui favorise l'augmentation de la vitesse (figures II.9). D'après la (figures II.10) on note que les vitesses les plus faibles se situent en aval des deux derniers bâtiments.

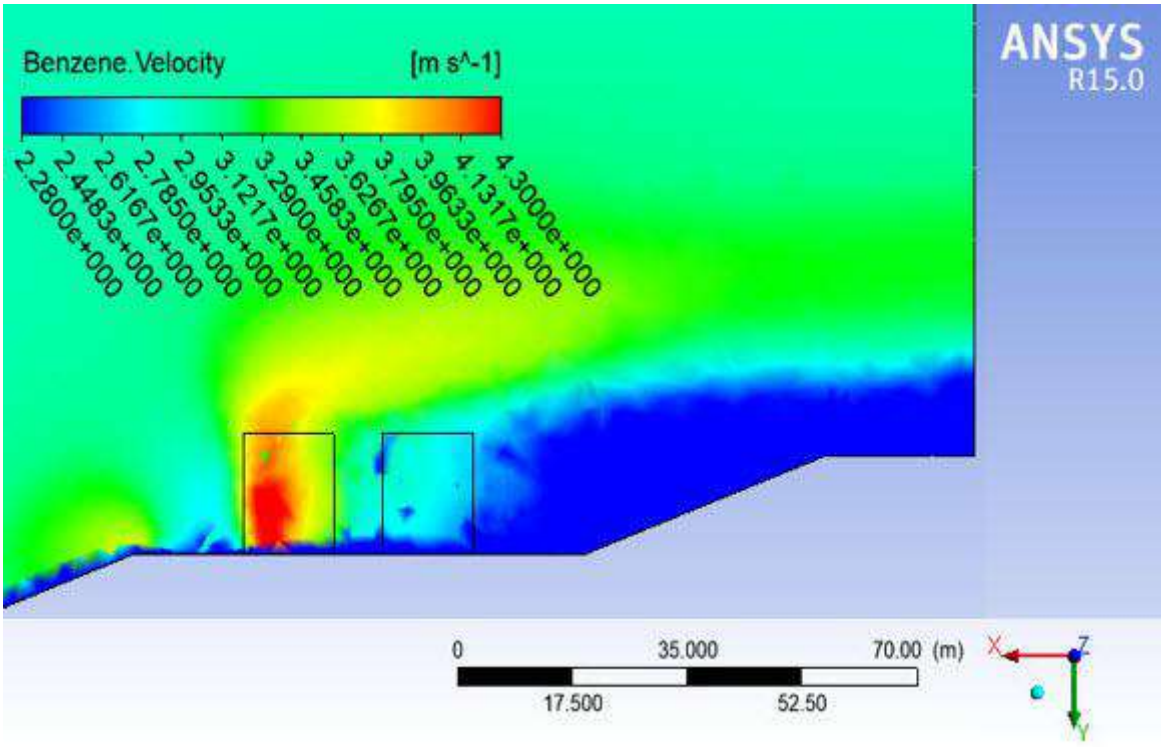


Figure II.9 : Vitesse de dispersion des gaz d'échappement émis à une distance de 7 m de l'axe des bâtiments.

Pour mieux étudier la dispersion de la fumée du benzène gazeux en fonction de diverses géométries, il a été supposé qu'il existe une source émettrice située à un niveau plus bas par rapport à la nature du terrain. L'étude montre que les concentrations élevées épousent le profil du relief ($x= 2.5.10^{-4}$) où les bâtiments sont implantés, puis diminue fortement au niveau de la pente supérieure sous l'effet de la recirculation de l'air. (Figures II.10 et II.11).

D`après la figure II.11 la forte concentration remarquée au niveau de la premier et la deuxième façade des bâtiments est dus au contact de fumées aux façades des bâtiments.

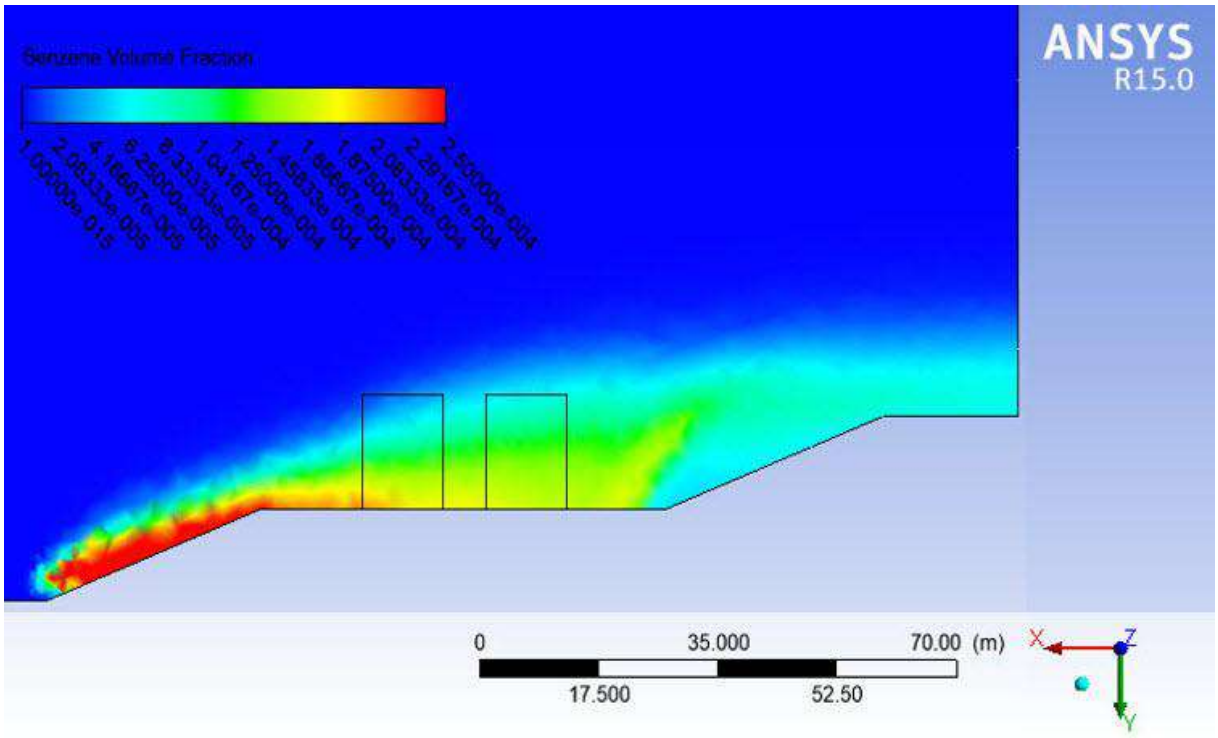
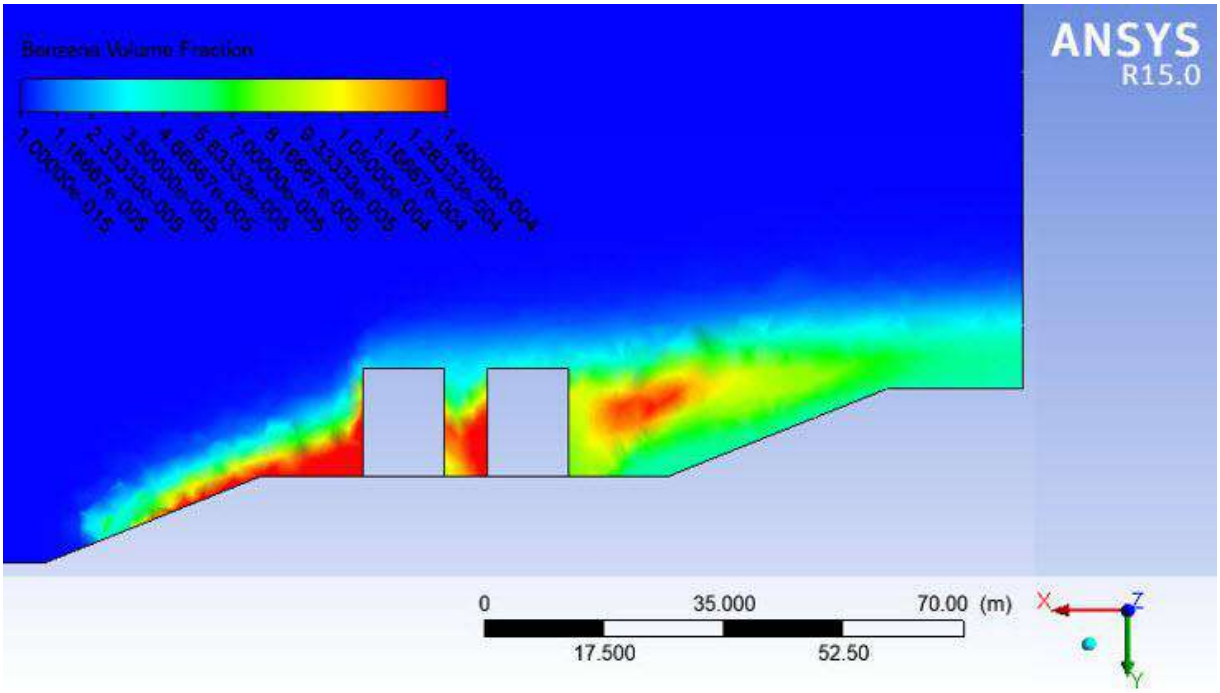


Figure II.10 : Dispersion des gaz du benzène à une source située au niveau inférieur de l'axe



des bâtiments.

Figure II.11 : Effet de la dispersion du gaz à une source située au niveau inférieur sur les façades des bâtiments.

D'après la figure II.12 la vitesse de dispersion du benzène contenu dans les gaz d'échappement montre clairement que l'augmentation de la vitesse entre les deux premiers bâtiments v = 4.2 $m.s^{-1}$ est due à la diminution de profil de la surface de dispersion.

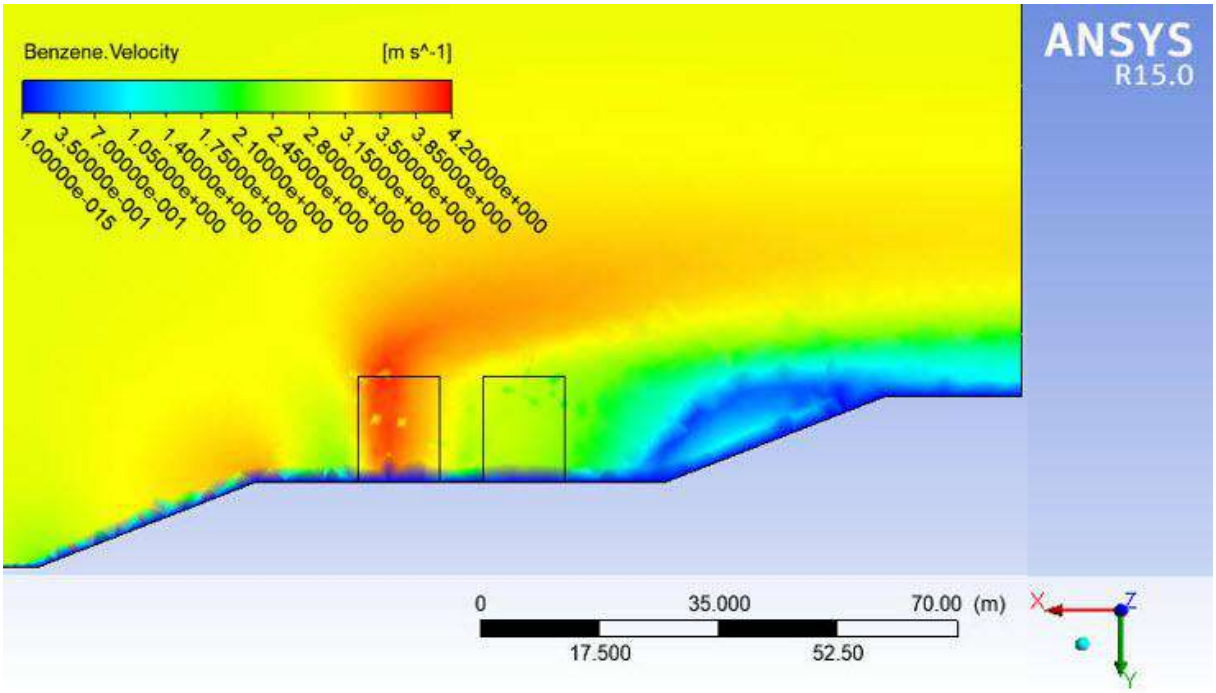


Figure II.12 : Vitesse de dispersion du benzène à une source située au niveau inférieur de l'axe des bâtiments.

Dans le cas où la source d'émission est au centre des bâtiments de 12 m de hauteur, l'étude de la dispersion a montré une forte accumulation du gaz polluant (C_6H_6) à proximité de la pente supérieure (approximativement de même hauteur que les bâtiments adjacent) du fait de l'emprisonnement et de l'effet de freinage par les bâtiments, la pente et la masse d`air provenant de l`ouest du domaine de l`étude. Dans ce cas, presque tous les niveaux d`étages des bâtiments sont touchés par la pollution (figure II.13) d'où un impact négatif sur la population.

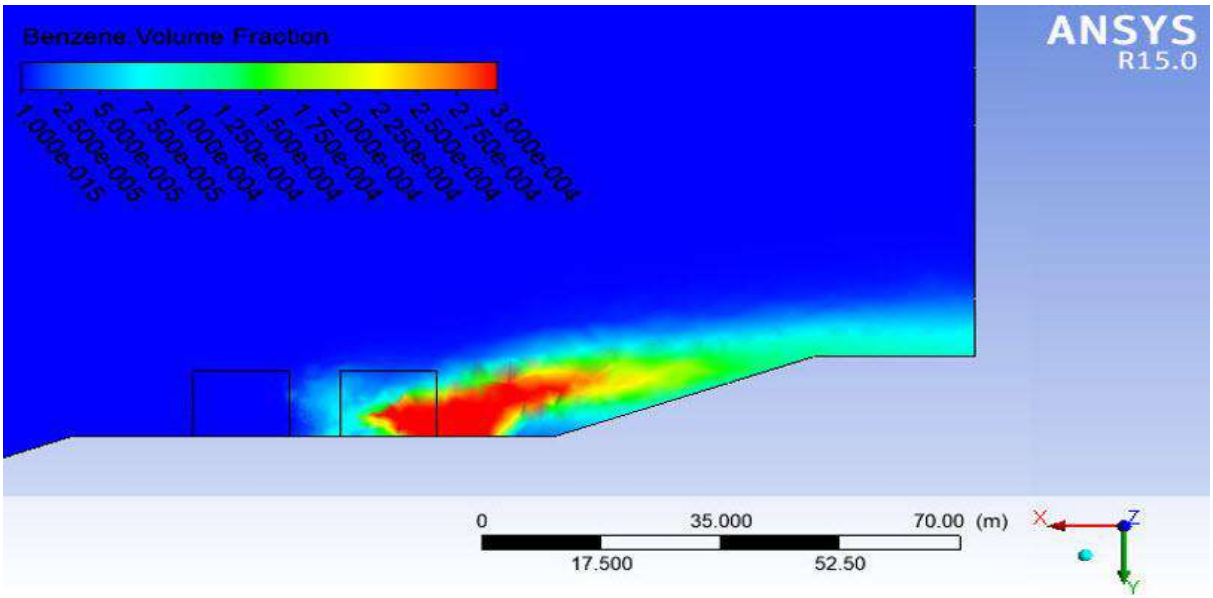


Figure II.13 : Effet de la hauteur des bâtiments H = 12 m sur l'accumulation de gaz polluants.

L'étude de l'évolution de la vitesse de dispersion de benzène, montre l'effet de la stagnation et le ralentissement de la fumée entre la pente et les façades des bâtiments avec des vitesses faibles qui atteignent v = $7.5.10^{-1}$ $m.s^{-1}$ (figure II.14).

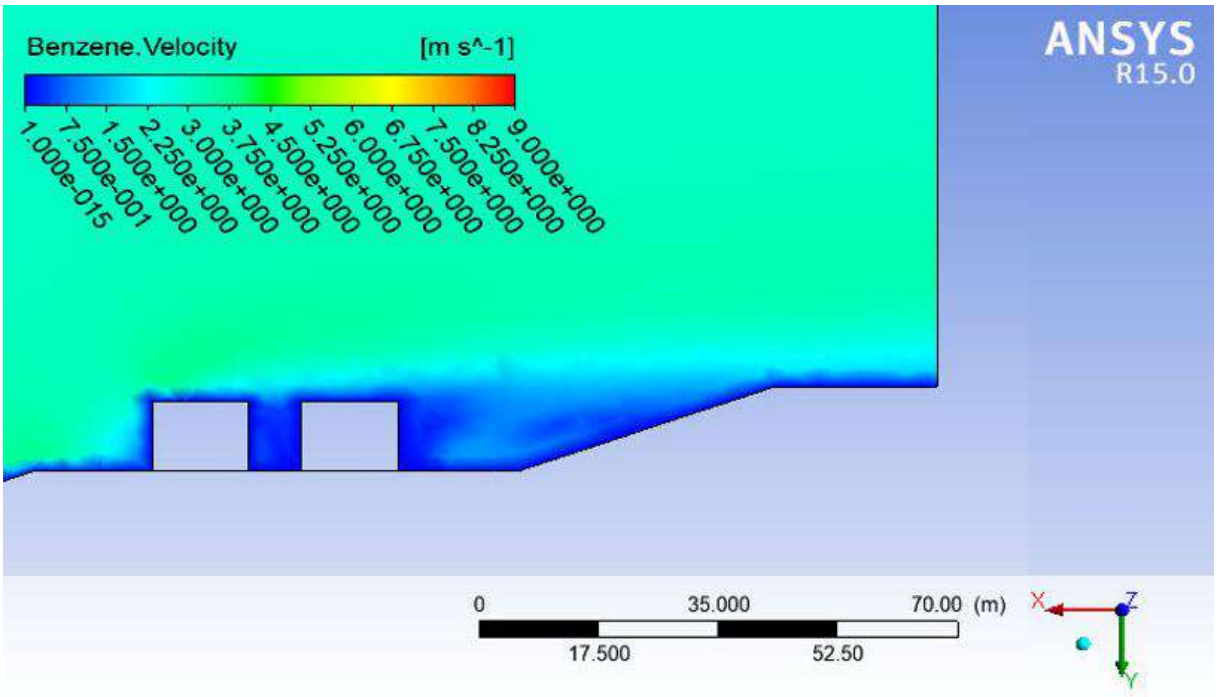


Figure II.14: Effet de la hauteur des bâtiments H = 12 m sur la vitesse de dispersion des polluants gazeux.

Conclusion

Cette recherche vise à simuler des cas critiques de diffusion de gaz toxiques en milieu urbain, tels que la diffusion de benzène par les pots d'échappement résultant de la combustion de carburant moteur. Le but de cette étude était de simuler la diffusion de gaz à partir de tuyaux d'échappement inodores et invisibles. A travers cette simulation, on peut imaginer l'influence de différents paramètres physico-chimiques, comme la géométrie du site expérimental (aménagement naturel et urbanistique), sur la dispersion, comme l'effet de piégeage du vent et l'effet des montagnes sur la stagnation du smog. A cet effet, les profils de simulation sont bien expliqués et révèlent différents obstacles ou laxatifs à la dispersion des fumées émises par la voiture

Références Bibliographique :

- **A. Guenther, C.N. Hewitt, D. Erickson, R. Fall, C. Geron, T. Graedel, P. Harley, L. Klinger, M. Lerdau, W. A. Mckay, T. Pierce, B. Scholes, R. Steinbrecher, R. Tallamraju, J. Taylor et P. Zimmerman**, « A global model of natural volatile organic compound emissions », *Journal of Geophysical Research*. (en)
- **AYADI F.,** 2002- Bio indication spatio-temporelle de la pollution par les hydrocarbures de la zone pétrochimique de SKIKDA à l'aide d'une espèce technique épiphyte Xanthoria parientina.
- **BENZAKHROUFA. A**, *Caractéristique et modèles de dispersion des sources ponctuelles de la pollution industrielle*, Thèse de Magister Univ Hassiba Benbouali Chlef (2009).
- Composés Organiques Volatils (COV), sur le site de l'ADEME (consulté le 22 avril 2022).
- **Condorchem Envitech** , entreprise d'ingénierie environnementale.
- **Hajime Akimoto, Jun Hirokawa**, *Atmospheric Multiphase Chemistry*, Wiley, 2020, p. 6. (en)
- **Kerbachi R, et Coll**, *La pollution par les oxydes d'azote et l'ozone dans la ville d'algie*. Pollution atmosphérique p 89-101.
- **Wiberley A.E., Donohue A.R., Westphal M.M. & Sharkey T.D**, « Regulation of isoprene emission from poplar leaves throughout a day », *Plant Cell & Environment*. (en)
- **Lacour S,** *Cours de pollution atmosphérique Inventaires d'émissions*. École Nationale des Ponts et Chaussées Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique.
- **Marc-André Selosse**, *Petites histoires naturelles. Chroniques du vivant*, Actes Sud Nature, 2021, p. 12-13
- **PIERRE V.,** 1975- La pollution de l'air, effet, moyen de lutte prévention, mesure et détection, Encyclopédie de l'environnement. Collection dirigée par jean A. TERNISIEN.
- **Habet, Lila, and K Benrachedi.** 2015. "Study of Dispersion of Brine Water into Coastal Seawater by Using a Pilot" 1: 33–39.
- **Pfeffer, H. U**. 1994. "Ambient Air Concentrations of Pollutants at Traffic-Related Sites in Urban Areas." *Staub, Reinhaltung Der Luft 51* (2): 63–69.

- **Scholkopf, Bernhard, and Alexander J. Smola**. 2001. Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond. The MIT Press, Cambridge.
- **B.E.Launder, and D.B.Spalding**. 1974. "The Numerical Computation of Turbulent Flows." *Journal of High Energy Physics* 3: 269–289. https://doi.org/10.1007/JHEP10 (2012)057.
- **Stapleton, K. W., E. Guentsch, M. K. Hoskinson, and W. H. Finlay**. 2000. "On the Suitability of K-ε Turbulence Modeling for Aerosol Deposition in the Mouth and Throat: A Comparison with Experiment." *Journal of Aerosol Science 31* (6): 739–749.
- **Stein, A. F., R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J.B. Stunder, M. D. Cohen, and F. Ngan.** 2015. "Noaa's Hysplit Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System." Bulletin of the American Meteorological Society 96 (12): 2059–2077.