



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

**MASTER EN PHYSIQUE**

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par :

**Mr BenammarSoufianeBahi**

Sur le thème

---

## **Contribution à l'étude des paramètres influençant la dispersion Atmosphérique des polluants émis par une centrale Energétique**

---

Soutenu publiquement le 13 juillet à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme Senoudi Assia	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
Mme Diaf Nadia	MAA	Université de Tlemcen	Encadrante
Mr Merad Laarej	Professeur	Université de Tlemcen	Co-encadrante
Mme Bouchaour Mama	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice

*Année Universitaire : 2020~ 2021*

## *Remerciements*

*Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail,*

Ce travail a été réalisé à l'Unité de Recherche Matériaux & Energies Renouvelable URMER de l'université ABOUBEKR BELKAID.

Ma profonde gratitude va en premier lieu à mon encadreur Mme DIAF Nadia pour son aide et pour ces conseils. Ainsi que mon

Co-encadreur Mr. MERAD Laradj pour m'avoir fait profiter de ces connaissances.

Mes respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury qui ont accepté de lire et d'évaluer ce travail

Mes vifs remerciements vont aussi à mes parents qui m'ont donné la lumière et m'ont guidé et à tous mes professeurs qui m'ont orienté, assisté et aidé à concevoir ce mémoire ainsi qu'à tous ceux qui durant ma vie scolaire et universitaire m'ont apporté leurs précieux conseils et m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents, que Dieu les garde et les protège pour leur soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.*

*Mon Père*

*Ma Mère*

*A mes Frères et Sœurs*

*Aux chers amis*

.....

*A ceux qui me sont chers et ceux qui j'ai aimé du fond de mon cœur.*

*Bahi*

## *Sommaire*

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

### **Chapitre I**

#### **Généralités sur la pollution atmosphérique**

<b>Introduction .....</b>	<b>6</b>
I.1 Qu'est ce que c'est la pollution atmosphérique ?.....	6
I.2 Structure de l'atmosphère.....	6
I.3 Nature et origine de la pollution atmosphérique .....	8
I.4 Polluants gazeux.....	9
I.4.1 Les polluants primaires .....	9
I.4.2 Les polluants secondaires .....	11
I.5 Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement.....	12
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>13</b>

### **Chapitre II**

#### **Modélisation de la dispersion atmosphérique**

<b>II. Introduction.....</b>	<b>15</b>
II.1 La dispersion atmosphérique des polluants.....	15
II.2 Emission et transformation.....	15
II.3 Dépôts de polluants .....	16
a-Dépôts humides.....	16
b-Dépôts secs .....	16
II.4 Modélisation de la dispersion atmosphérique .....	16
II.4.1 Théorie de transfert : Turbulence Atmosphérique.....	16
II.4.2 Diffusion moléculaire et diffusion de masse :.....	17
II.5 Formules de diffusion.....	18
II.5.1 Formule de BOSANQUET et PEARSON .....	19
II.5.2 Formule de SUTTON .....	19

II.5.3	Formule de CALDER.....	19
II.5.4	Formule de PASQUILL.....	19
II.5.5	les différents états de l'atmosphère.....	19
II.6	Modèles de dispersion atmosphérique.....	21
II.6.1	Modèle Gaussien.....	21
II.6.2	Estimation de la sur-hauteur.....	22
II.6.3	Formule de Lucas.....	23
II.6.4	Formule de Holland.....	23
II.6.5	Formule de concawe.....	24
II.6.6	Formule de Bringfelt.....	24
<b>Conclusion</b>	.....	<b>24</b>
<b>Références bibliographiques</b>	.....	<b>25</b>

## **Chapitre III**

### **Résultats et Discussions**

<b>Introduction</b>	.....	<b>27</b>
<b>III. Application du modèle Gaussien</b>	.....	<b>27</b>
III.1	Variation de la sur-hauteur.....	28
III.2	Calcul des concentrations des polluants.....	31
III.3	Facteurs influençant la dispersion atmosphérique des polluants.....	31
III.3.1	Influence de la stabilité de l'atmosphère.....	31
III.3.2	Influence de la hauteur.....	33
III.3.3	Influence de la vitesse du vent.....	33
<b>Conclusion</b>	.....	<b>38</b>
<b>Conclusion générale</b>	.....	<b>39</b>
<b>Références bibliographiques</b>	.....	<b>40</b>

## Listed Figures

Figure I- 1 Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère. Source : A. Renoud et D. Boulaud. ....	11
Figure I- 2 Schéma illustratif des différentes couches, pour une atmosphère « standard » aux moyennes latitudes. ....	8
Figure I- 3 Schéma récapitulatif de l' Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement et la santé humaine.....	12
Figure II- 1 Différentes étapes de dispersion des polluants dans l'atmosphère .....	15
Figure II- 2 Représentation de la dispersion atmosphérique des polluants selon le modèle gaussien .....	22
Figure II- 3 Schéma illustrant le phénomène de surhauteur dans le modèle gaussien.....	23
Figure III- 1 Variation de la sur-hauteur $\Delta H$ en fonction de la vitesse du vent $V$ pour différentes valeur de $h_0$ (hauteur géométrique de la cheminée) .....	28
Figure III- 2 Variation de la sur-hauteur $\Delta H$ en fonction de la vitesse du vent $V$ pour différentes puissances calorifique $Q$ (MW) .....	29
Figure III- 3 Variation de la sur-hauteur $\Delta H$ en fonction de la vitesse du vent $U$ pour différentes puissances calorifique $Q$ (MW) .....	30
Figure III- 4 Variation de la sur-hauteur $\Delta H$ en fonction de la vitesse du vent $V$ et la distance $X$ à la source.....	31
Figure III- 5 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance $X$ pour différents états de l'atmosphère .....	32
Figure III- 6 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance $X$ pour différentes Hauteurs géométriques.....	33
Figure III- 7 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance pour différentes valeurs de la vitesse du vent.....	34
Figure III- 8 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance à une altitude.....	35
Figure III- 9 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance à une altitude.....	36
Figure III- 10 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance à une altitude.....	37
Figure III- 11 Evolution de la concentration $C$ en fonction de la distance à une altitude.....	38

## Liste des Tableaux

Tableau II- 1 : Les classes de stabilité de l'atmosphère selon PASQUILL. ....	20
Tableau II- 2 : Valeurs de $C_y$ et $C_z$ , et n en fonction de l'altitude $Z$ et la stabilité de l'atmosphère.....	20

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La pollution est responsable, selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) de la mort de 2,4 millions de personnes dans le monde chaque année (Communiqué de l'OMS publié à Genève, 2006)[1]. Les millions de tonnes de polluants émis chaque année dans l'environnement sont responsables d'énormes problèmes pour notre planète comme le réchauffement climatique, la désertisation des sols, le trou de la couche d'Ozone, la disparition de certaines espèces animales et végétales, la diminution des sources hydrauliques, l'élévation des niveaux de mer. Sur la santé humaine ils causent des troubles cardiaques ou reproductifs, des cancers et favorisent également les maladies allergiques respiratoires (asthme)[2].

Cette pollution est une conséquence directe de l'activité humaine et le développement sauvage de l'industrie et son accélération au cours de ces dernières années. En effet, le développement des industries chimiques et pétrolières a conduit à une multiplication et une diversification des polluants, tandis que l'explosion démographique entraînait une hausse considérable des besoins énergétiques et une augmentation conséquente du trafic automobile. Devant cette situation, une prise de conscience des scientifiques, des pouvoirs publics et même de la population commence à naître, par exemple en France des mesures réglementaires de plus en plus sévères ont été adoptées pour limiter les émissions de polluants, en particulier celles d'origines industrielles.

Pour Obéir aux lois de restriction des polluants des pouvoirs publics, les industriels se sont lancés dans une course aux réductions de leurs émissions de produits nocifs. Par exemple les rejets de dioxyde de soufre ont baissé de 85% [3]. C'est ainsi que l'industrie a fait appel au secteur de la recherche pour développer et optimiser ses méthodes de production, par la mise en place de procédés de plus en plus perfectionnés ce qui nécessite le développement de réseaux de surveillance et la mise en place de nombreux capteurs pour conseiller les autorités, informer et prévenir les populations et cela devient couteux, donc le monde industriel s'est tourné vers la modélisation de la pollution afin de renforcer et d'améliorer la sécurité sur et en dehors des sites de production. Grâce aux développements des modèles, cet aspect numérique a pris une importance dans les systèmes de régulation de la pollution industrielle.

Dans ce cadre la communauté scientifique s'est penché sur la modélisation des différentes pollutions à savoir la pollution de l'air et la pollution de l'eau puisque ces deux éléments (l'air et l'eau) constituent des critères de choix pour l'évacuation de nombreux types de déchets.

## Introduction générale

---

La modélisation de la dispersion atmosphérique a pour enjeu d'estimer la concentration de polluants dans l'air. Il s'agit de prévoir le dépassement de seuils de concentration au-delà desquels les polluants gazeux sont dangereux, améliorer la compréhension des causes des pics de pollution et prendre les mesures nécessaires pour éviter leurs reproductions futures et de prévoir l'impact d'installations industrielles ou encore du trafic routier sur l'environnement et la santé humaine. Elle peut servir d'aide à la décision, en permettant de prendre des mesures de réduction d'émission. La diversité de cette pollution montre qu'il existe différentes échelles : pollution locale, pollution régionale et pollution continentale. En effet, l'étude de l'impact des polluants d'une installation industrielle par exemple, pourra se focaliser sur un champ relativement proche (quelques kilomètres). Pour modéliser un polluant tel que l'ozone, on se place en revanche à l'échelle continentale [4]. Il est donc nécessaire de disposer de plusieurs modèles afin de répondre aux différentes situations, et de leurs domaines d'application et leurs limitations. C'est à dire, pour chaque type de modèle, il y a une échelle où l'évolution des concentrations est bien représentée par les observations à la station. En d'autres termes il n'est pas nécessaire de n'avoir qu'un seul modèle performant à toutes les échelles [5].

La modélisation de la pollution atmosphérique est un problème complexe et pluridisciplinaire. En effet, elle fait appel à plusieurs phénomènes physiques et chimiques et aussi à la médecine permettant alors de créer un lien statistique entre le polluant étudié et son impact sur la santé humaine. aucune de ces approches ne possède sa propre gamme d'échelle de temps et d'espace permettant de prendre en compte les phénomènes physiques prépondérants. Ainsi, des modèles permettant de modéliser les grands mouvements de masse d'air seront utilisés pour la modélisation à l'échelle continentale, assurant le suivi des polluants sur de longues distances (l'exemple de l'accident de Tchernobyl) alors que pour des sites industriels demandera une prise en compte de structures turbulentes plus petites pour expliquer la variation de la concentration autour d'un site. En fin, il est impossible de représenter l'ensemble des échelles à l'intérieur d'un seul modèle. C'est pourquoi une large gamme de modèles a été développée afin de répondre aux différents problèmes de pollution qu'on peut rencontrer.

Actuellement, il existe une multitude de modèles, commerciaux ou non, Ces modèles diffèrent généralement par leur concepts théoriques (résolution eulérienne, modèles stochastiques lagrangiens, etc.), par leur complexité (modèles analytiques, simulation directe) et surtout par leurs applications (surveillance de site, prévision, simulation et étude d'impact, etc.). Ces modèles sont classés en deux catégories : • des modèles analytiques simples et

# Introduction générale

---

rapides d'exécution, mais qui ne tiennent pas compte des complexités géométriques ; • des modèles plus complexes qui assurent une bonne représentativité de la géométrie des sites étudiés, mais avec des temps de calcul longs.

C'est dans ce contexte que porte notre travail de fin d'étude, nous nous intéressons plus particulièrement à la modélisation de la pollution atmosphérique à l'échelle locale d'une centrale énergétique (cas d'une cheminée) ainsi que les facteurs influençant cette dispersion. La présentation de ce travail se décompose en trois chapitres.

Le premier chapitre de ce travail propose des généralités sur la pollution atmosphérique, les différents types des polluants gazeux ainsi que leurs origine. L'impact de ces polluants sur l'environnement et la santé humaine est abordé.

Le second chapitre traite les éléments de base théoriques de la modélisation atmosphérique ainsi que les différents modèles existants leurs domaines d'application et leurs limitations.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats et discussions obtenus par l'application du modèle gaussien pour une centrale énergétique. Enfin une conclusion générale est présentée.

### Références bibliographiques

[1] De Rosa M, Zarrilli S, Paesano L, Carbone U, Boggia B, Petretta M, Maisto A, Cimmino F, Puca G, Colao A, Lombardi G. « Traffic pollutants affect fertility in men », Hum Reprod pp 1055-612003.

[2]Thibault Pénélon, « La modélisation des pollutions accidentelle »,18ème journée d'information du Cedre– INERIS

[3]<http://www.inserm.fr/espace-journalistes/quel-impact-de-l-exposition-des-femmes-enceintes-aux-polluants-> -sur-lacroissance-foetale 18 juin 2009 .

[4] Hadjira SchmittFoudhi,« cours Dispersion atmosphérique » , Novembre 2010.

[5] Mallet, V and al « The air quality modeling system Polyphemus », Atmos. Chem. Phys.. 7(20) :5479–5487, 2007.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la pollution atmosphérique**

## Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter de manière générale la pollution atmosphérique, les différents types de polluant ainsi que leurs sources d'émission et puisque ces polluants sont dispersés dans l'atmosphère nous présentons la structure de l'atmosphère enfin nous abordons l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé humaine et l'environnement.

### I.1 Qu'est-ce que c'est la pollution atmosphérique ?

Le terme de pollution désigne l'ensemble des composés toxiques libérés par l'action humaine ou d'une installation industrielle provoquant une modification de la constitution physico-chimique du milieu naturel.

#### La pollution atmosphérique

Plusieurs définitions ont été données pour expliquer la pollution de l'atmosphère, parmi lesquelles on cite : La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 [1], définit la pollution de l'air comme « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques et à détériorer les biens matériels.

### I.2 Structure de l'atmosphère

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse qui entoure certains corps célestes comme, par exemple, la Terre, Vénus ou Mars. Les gaz sont maintenus autour de ces corps célestes par la force gravitationnelle qui les retient et les empêche de s'échapper vers l'espace. L'épaisseur de l'atmosphère varie, entre 350 et 800 km ; elle dépend en particulier de l'activité solaire . L'atmosphère est constituée de plusieurs couches d'importance variable qui ont été fixées selon les variations de la température et de l'altitude.

- **la troposphère** : c'est la couche dans la quelle nous vivons et la plus basse de l'atmosphère, elle commence à la surface et s'étend entre 7 et 8 km aux pôles et de 13 à 16 km à l'équateur, cette épaisseur varie en fonction des conditions climatiques. Elle contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est la couche où se produisent les phénomènes météorologiques (nuages, pluies, etc.) et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux (convection thermique, vents) ;
- **la stratosphère** : elle est caractérisée par une croissance de la température avec l'altitude, d'abord très faible, puis devenant plus nette à partir de 30 km.

Elle se situe en moyenne vers 50 km d'altitude, avec une température moyenne de 0 °, elle contient une bonne partie de la couche d'ozone

- **la mésosphère** : dans cette couche on observe une décroissance rapide de la température avec l'altitude, cessant brusquement à la mésopause, située vers 80 km où l'on a des températures comprises entre  $-120\text{ °C}$  et  $-50\text{ °C}$ . La température dans cette couche atteint jusqu'à  $-80\text{ °C}$ .

**la thermosphère** la température croît avec l'altitude (de 80 km d'altitude de 350 à 800 km d'altitude).

Au delà de 85 km environ, c'est la thermosphère ; ou on constate une augmentation rapide de la température avec l'altitude. Signalons que les molécules de gaz deviennent si rares que la notion de température établie sur l'agitation des molécules n'a plus vraiment de sens à partir de 100 km environ. À ces hautes altitudes, les particules commencent à interagir avec le vent solaire.

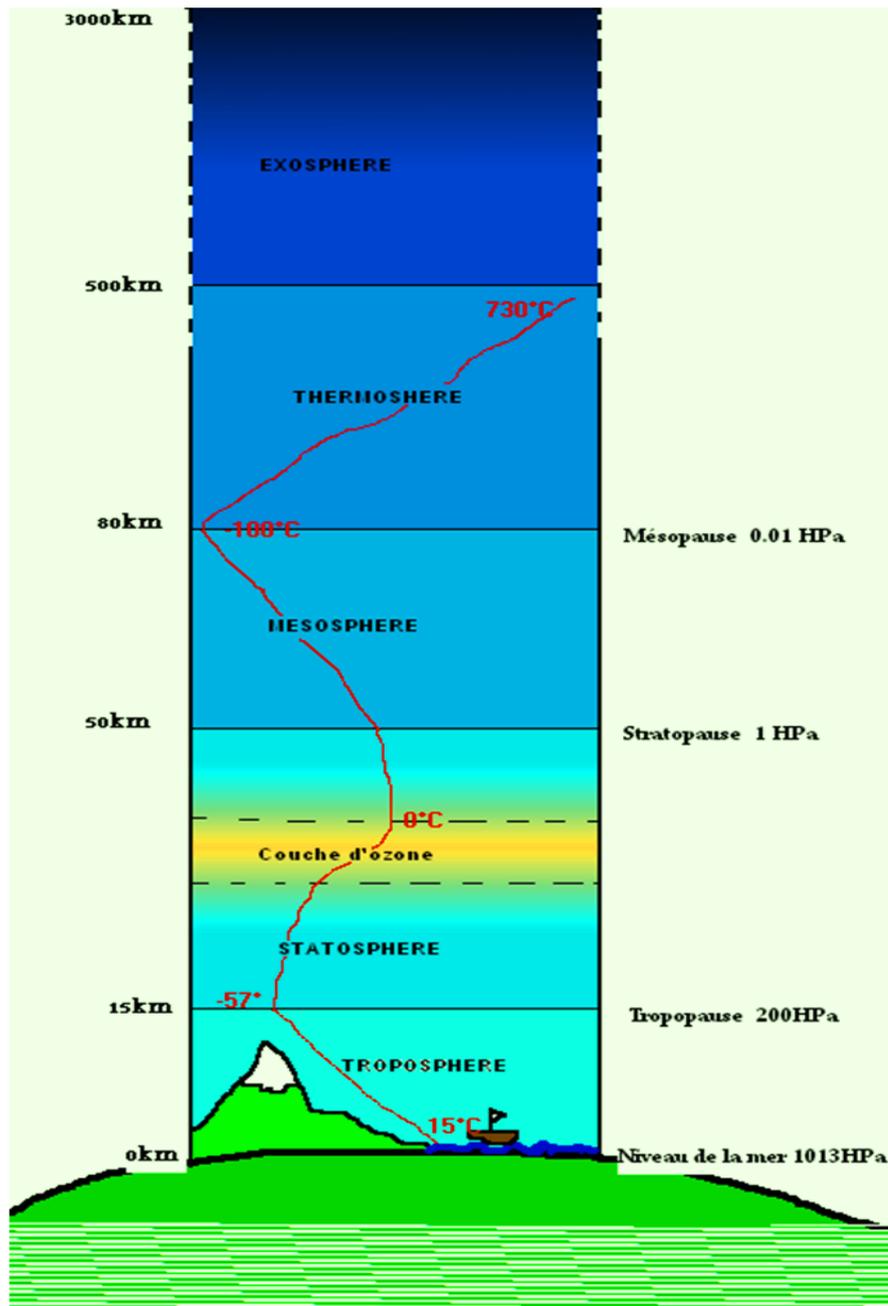


Figure I- 1 Schéma illustratif des différentes couches, pour une atmosphère « standard » aux moyennes latitudes.

### I.3 Nature et origine de la pollution atmosphérique

Les substances issues de sources naturelles ou artificielles peuvent être physiques (radioactives, énergétiques ...), chimiques (gaz, particules, aérosol ...) ou biologiques (pollen, acariens, moisissures ...). La première partie présente brièvement les sources de pollution atmosphérique qui ont des effets directs ou indirects sur la santé et se limitent aux émissions chimiques provenant de sources artificielles (à l'exclusion des gaz à effet de serre et des substances semi-volatiles, comme les pesticides). Lorsque ces polluants s'échappent

directement des gaz d'échappement, des cheminées ou des surfaces agricoles, etc., ils sont considérés comme la principale pollution. Ils seront ensuite dispersés, dilués, transportés ou transformés en d'autres composés dits «secondaires», tels que l'ozone ou le nitrate d'ammonium[2].

## I.4 Polluants gazeux

Parmi les polluants gazeux on distingue deux types :

### I.4.1 Les polluants primaires

- **Dioxyde de soufre**

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est un polluant historique majeur, connu pour son brouillard acide, Ce polluant a un taux de mortalité élevés. Les rejets de SO<sub>2</sub> sont principalement dus à la combustion de combustibles fossiles soufrés (charbon, coke de pétrole, fioul lourd, mazout, etc.).

- **Oxydes d'azote**

Les oxydes d'azote (NO + NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) produits par les activités humaines proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles (essence, diesel, fioul ...) ou de biomasse. Ils sont formés en combinant l'azote (N<sub>2</sub>) et l'oxygène (O<sub>2</sub>) dans l'air à des températures élevées. Dans le processus de combustion, l'azote de l'air est principalement oxydé en NO, puis progressivement oxydé en NO<sub>2</sub> à l'air libre. En présence de certains composants atmosphériques et sous l'influence du rayonnement solaire, le NO<sub>x</sub> est également un précurseur et la principale source de pollution photochimique par l'ozone. Certains procédés industriels non liés à la consommation d'énergie (production d'acide nitrique, d'engrais azoté, etc.) émettent des NO<sub>x</sub> [3].

- **Particules atmosphériques primaires**

Les principales particules présentes dans l'atmosphère ont différentes origines: Mécanique: érosion du sol, broyage, concassage, etc.; \* Chimique ou thermique: Ces particules se forment en modifiant l'état de la matière par des réactions chimiques, s'évaporant à haute température puis se condensant. Le spectre granulométrique de ces particules varie de quelques nanomètres à quelques dixièmes de micromètre. \* Biologique: pollen, champignon, bactéries. Ces particules sont généralement classées en fonction de leur taille car elles pénètrent plus profondément ou moins profondément dans le système pulmonaire. Ces particules existent sous forme d'aérosols, formant un système particules-air en suspension dans l'atmosphère [4].

- **Composés organiques volatils**

Les émissions anthropiques de composés organiques volatils (COV non méthaniques) sont basées sur les hydrocarbures C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> légers, parfois liés au chlore ou à d'autres substances. Ils sont produits par combustion ou évaporation à partir de sources multiples qui affectent tous les domaines d'activité. Par conséquent, ils peuvent être utilisés comme composants de carburant, ainsi que de nombreux produits courants contenant des solvants (peintures, colles, etc.). Les activités qui émettent de tels composés organiques volatils comprennent la combustion de la biomasse par le biais de sources fixes, la combustion et l'évaporation du carburant par le transport routier et le revêtement des routes avec de l'asphalte.

De plus, les émissions de COV d'origine naturelle proviennent des végétaux, en particulier des forêts. Surveiller la toxicité de certains COV, comme le benzène hydrocarboné monocyclique (le C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> est considéré comme le plus nocif pour l'air ambiant) et / ou comme précurseur de l'ozone secondaire [4].

- **Métaux lourds**

-Le plomb (Pb) est parmi les métaux lourds, qui existe dans la combustion de combustibles fossiles, tels que le charbon, le fioul, le carburant d'aviation et l'incinération des déchets dans les usines de combustibles et l'incinération des déchets ménagères et aussi dans les batteries de voiture.

-Les émissions artificielles d'arsenic (As) proviennent de combustibles fossiles, comme le mazout lourd ou le charbon. Certains procédés industriels sont à l'origine d'émissions d'arsenic, notamment dans la production de verre et de métaux.

-Les émissions de cadmium (Cd) sont principalement causées par les procédés de traitement des déchets et les secteurs métallurgiques, et par le procédé de combustion du charbon, du fioul lourd et de la biomasse.

-Les émissions de nickel (Ni) proviennent principalement de la combustion de fioul lourd. Certains procédés industriels libèrent également de grandes quantités de ce composé (comme les procédés de traitement de surface).

-Les émissions de mercure d'origine humaine (Hg) proviennent de sources multiples: combustion du charbon, combustion de déchets verts, incinération des déchets et fabrication d'agrégats (en particulier les fours à ciment). Dans certains procédés industriels, le mercure est également utilisé comme catalyseur pour la production de chlore et de soude caustique.

Au cours des 10 à 25 dernières années, la teneur en ces métaux lourds a considérablement baissé (plus de 40%) [4].

- **Polluants organiques persistants**

Les polluants organiques persistants comprennent principalement les dioxines et furanes (PCDD-F) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à plusieurs cycles benzéniques qui sont libérés lorsqu'il sont brûlés dans des conditions défavorables, en particulier le bois et les combustibles fossiles utilisés dans le secteur résidentiel [4].

#### I.4.2 Les polluants secondaires

Les particules secondaires sont produites par des mécanismes d'oxydation, de nucléation, et de condensation qui transforment les composés gazeux de l'atmosphère en particules liquides ou solides. Parmi les polluants secondaire on peut citer :

Le nitrate d'ammonium) qui est formé par la réaction de deux précurseurs: un oxyde d'azote provenant principalement du trafic routier (urbain et interurbain) et de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), qui est émis notamment par la dispersion d'engrais agricoles, et d'autres matières organiques. (Engrais à pâte), ils sont plus volatiles. À des températures douces.

L'ozone ( $\text{O}_3$ ) est un polluant symbolique de la famille des photos oxydantes, qui provient de la réaction dite photochimique entre les principaux polluants des précurseurs, principalement les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV)[4].

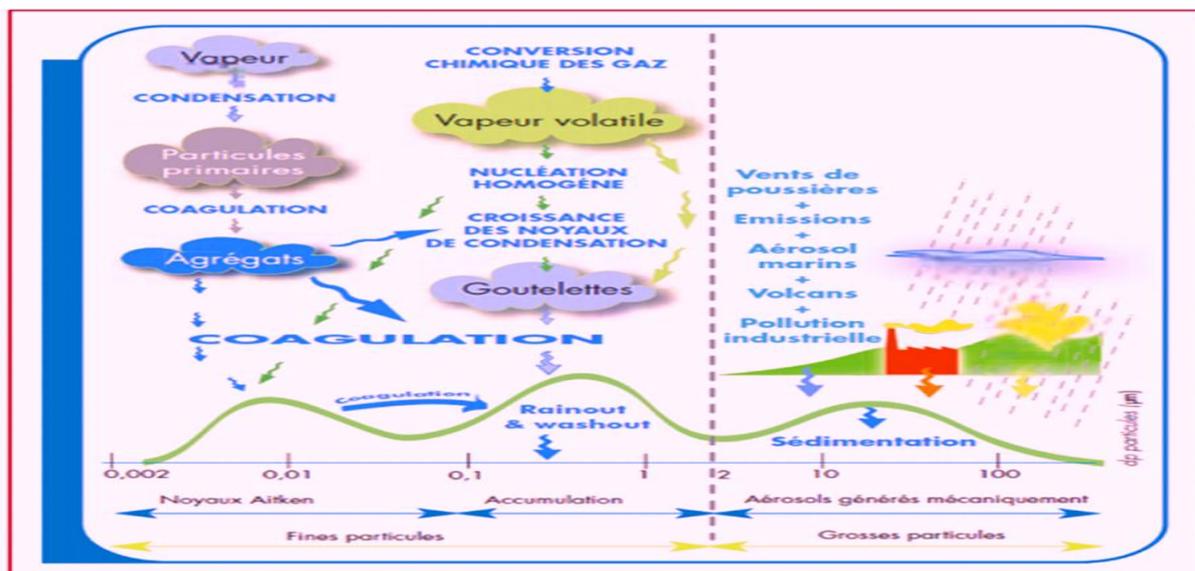


Figure I- 2 Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère. [4]

## I.5 Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement

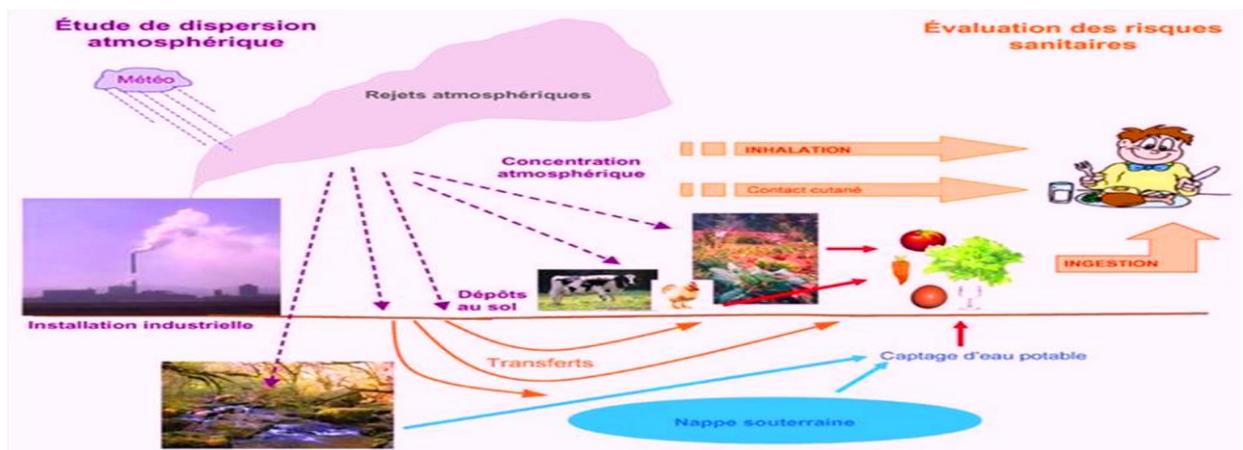
Les humains ne sont pas les seuls affectés par la pollution atmosphérique. Les plantes, les animaux et les bâtiments peuvent également être affectés par la pollution atmosphérique. L'impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement peut être ressenti à différentes échelles géographiques.

Une concentration élevée de polluants gazeux peut provoquer des conséquences dévastatrices sur l'environnement comme :

- La destruction des composants de l'air, Eau de surface, eau du sol, dommages de la chaîne Nourriture et dégradation des bâtiments.
- Une augmentation considérable de l'effet de serre qui contribue au changement climatique planète[5].

La pollution de l'air peut avoir aussi des effets à court et à long terme sur la santé humaine surtout en milieu urbain comme le risque de maladies respiratoires aiguës (pneumonie, par exemple) et chroniques (cancer du poumon, par exemple) ainsi que de maladies cardio-vasculaires.

Des effets plus graves sur la santé sont observés chez les personnes déjà malades. En outre, les populations plus vulnérables comme les enfants, les personnes âgées et les ménages à faible revenu ayant un accès limité aux soins de santé sont plus touchés par la pollution de l'air.



**Figure I- 3** Schéma récapitulatif de l' Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement et la santé humaine

**Références bibliographiques**

- [1] R. Perkins, L. Soulhac, P. Mejean, and I. Rios , "Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel Vers un guide de l'utilisateur," p. 57, 2005.
- [2] A. Martilli, A. Robins, R. Perkins, O. Duclaux, and L. Soulhac, " Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d ' obstacles complexes : application à l ' étude de sites industriels," Thèse de doctorat 2011.
- [3] J.P.Détrie, "L'évolution de la pollution atmosphérique", cours,1961
- [4] D. Charpin *et al.*, "La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire, rapport ,2016
- [5] Arya, S. « Air pollution meteorology and dispersion », Oxford University press, 1999.

## **Chapitre II**

# **Modélisation de la dispersion atmosphérique**



## II. Introduction

La diversité des phénomènes physiques tels que les émissions, les conditions météorologiques, la turbulence et chimiques comme les molécules instables se désintègrent et certains de leurs fragments rejoignent d'autres composants conduisant à des produits de réaction nocifs impliqués dans la dispersion des polluants dans l'atmosphère rend le problème de modélisation très compliquée. Il est donc difficile de tenir compte de tous ces phénomènes et de les représenter dans un modèle [1].

Le présent chapitre est consacré à l'étude du phénomène de dispersion ( bases théoriques) ainsi qu'une bref revue sur les différents modèles existants.

### II.1 La dispersion atmosphérique des polluants

Par définition la dispersion atmosphérique est la diffusion d'une quantité de polluants dans l'air. La dispersion des polluants dans l'atmosphère passe par plusieurs phases la figure II.1 suivante illustre ces différentes phases.

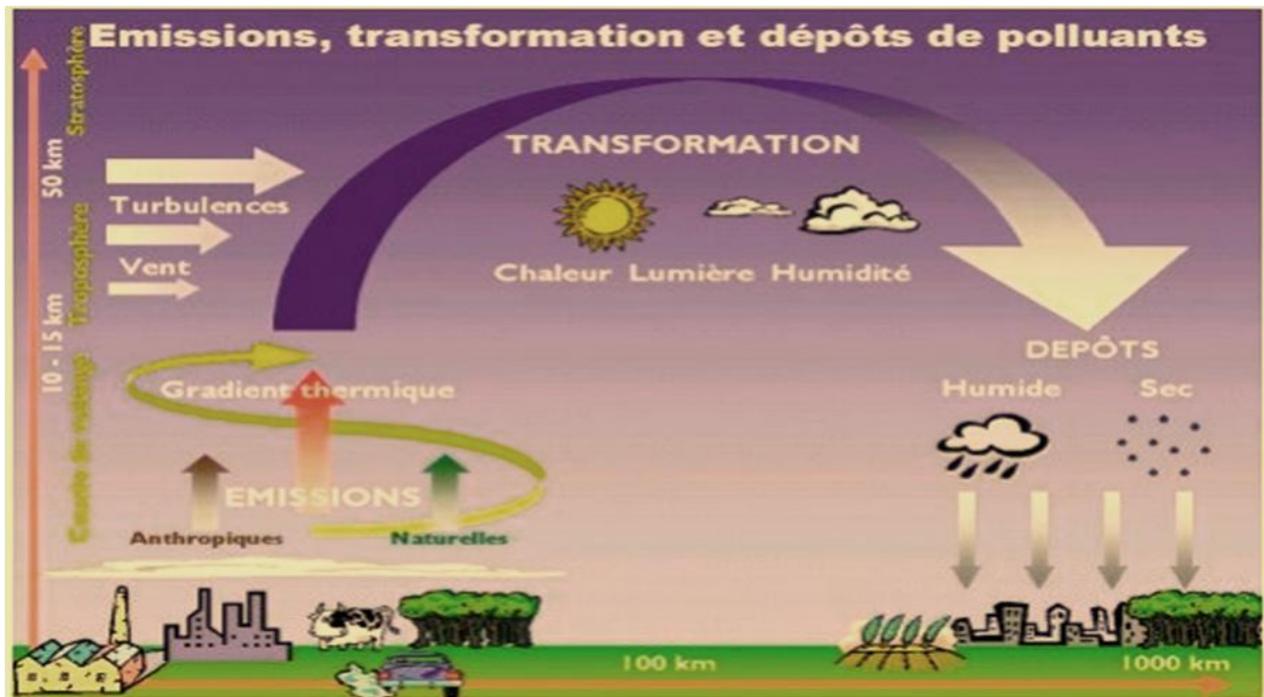


Figure II- 1 Différentes étapes de dispersion des polluants dans l'atmosphère [2]

### II.2 Emission et transformation

Une fois les polluants émis dans l'air, ils sont transportés sous l'effet des vents, de la pluie, des gradients de température dans l'atmosphère. Ils pourront également subir des transformations chimiques sous l'effet du rayonnement solaire, humidité, etc. Il en résulte l'apparition d'autres

polluants dits « secondaires » et un transfert des polluants pouvant aller jusqu'à des milliers de kilomètres de la source d'émission.

### II.3 Dépôts de polluants

#### a-Dépôts humides

Certains polluants gazeux présents dans l'atmosphère sont dissous dans les gouttelettes des nuages ou des brouillards sont déposés par voie humide au sol. Ce processus dépend de plusieurs facteurs comme : la taille de la composition chimique ,le pH des gouttes et la structure de la végétation est également importante car elle fait varier la surface de captation des gouttelettes [3].

#### b-Dépôts secs

Les polluants atmosphériques peuvent se déposer sur les surfaces bâties, la végétation, les sols et les eaux de surface par des processus secs. Le processus fondamental qui mène à des dépôts secs est la sédimentation ; c'est-à-dire l'effet de la gravité terrestre sur les particules. Toutes les particules, quelle que soit leur taille, sont soumises à la sédimentation. Cependant, seules les particules grossières, celles qui ont un diamètre supérieur à environ 10 microns (PM10). La chute d'une particule résulte de l'équilibre entre la force de gravité et la force de friction de la particule dans l'air. Cet équilibre est représenté mathématiquement par la loi de Stokes. Par exemple une particule sphérique de 10 microns et de masse volumique de 1 g/cm<sup>3</sup> a une vitesse de sédimentation d'environ 0,3 cm/s [4].

### II.4 Modélisation de la dispersion atmosphérique

Théoriquement la modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants est un phénomène qui peut être décrit :

- Soit sur la base des théories de la mécanique des fluides.
- Soit sur la base des théories statistiques.

#### II.4.1 Théorie de transfert : Turbulence Atmosphérique

La couche limite atmosphérique est un milieu turbulent. Cela signifie qu'il y a des mouvements à l'intérieur de l'air, qui peuvent être représentés par des tourbillons. Ces tourbillons participent à la dispersion des polluants dans l'atmosphère.

Cette turbulence est régie par deux critères :

- Des mouvements dynamiques basés sur le nombre de Reynolds qui est donné par :

$$Re = (U \cdot L) / \mu \quad (II.1)$$

U : est la vitesse moyenne du vent

**L** : est une dimension caractéristique des obstacles

**μ** : est la viscosité cinématique de l'air

- Des mouvements thermiques basés sur le nombre de Richardson qui détermine la stabilité de la atmosphérique :

$$R_i = \frac{g \left( \frac{\partial T}{\partial Z} + \Gamma \right)}{T \left( \frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2} \quad (\text{II.2})$$

Ou :

**g** : représente l'accélération de la pesanteur

**T** : représente la température

**L** : est le gradient adiabatique z

**Z** : est l'altitude

**Γ** : est le gradient adiabatique

A partir de ce nombre on peut définir les différents états de l'atmosphère

## II.4.2 Diffusion moléculaire et diffusion de masse :

### II.4.2.1 Equation de diffusion de masse

L'introduction d'un polluant passif de même masse volumique dans un écoulement fluide entraîne une variation de sa concentration dans une particule de fluide dont on suit le déplacement. Plusieurs mécanismes participent à cette variation :

- 1- L'agitation moléculaire.
- 2- le phénomène de transfert thermique par convection.
- 3- La diffusion turbulente qui est due aux fluctuations désordonnées du mouvement des particules. On peut classer les effets de ces phénomènes selon leurs importance : la diffusion moléculaire, la diffusion turbulente et le transport convectif du au mouvement.

L'évolution de la concentration C est exprimée par l'équation générale d'advection-diffusion, qui découle du principe de conservation de la masse.

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_i \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{U_i C'}) + D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x_i^2} + S \quad (\text{II.3})$$

Avec :

C désigne la concentration de polluant

$U_i$  désigne la composante i de la vitesse du vent

D est le coefficient de diffusion moléculaire

S désigne la source

$\overline{C U_i}$  :représente la grandeur moyenne par rapport au temps

$C' U'$  :représentent les fluctuations turbulente de C et U par rapport au temps.

Le terme  $\frac{\partial C}{\partial x_i}$  caractérise les mouvements moyens de convection.

Le terme  $\frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{U_i C'})$  détermine la diffusion moléculaire.

La composante  $D \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x_i^2}$  exprime la diffusion moléculaire.

Le transfert de C à travers un élément de surface dû à l'agitation moléculaire est caractérisé par une diffusivité moléculaire D, est augmenté d'un transfert turbulent égal au flux du vecteur  $-\overline{U' c'}$ .

Pour surmonter le caractère non linéaire du phénomène de diffusion le terme de transport turbulent  $\overline{U' c'}$  est exprimé par une relation flux gradient :

$$\overline{U_i' C'} = -K_{ij} \frac{\partial \overline{C}}{\partial x_j} \quad (\text{II.4})$$

$K_{ij}$  représente un tenseur du 2<sup>ème</sup> ordre de diffusivité turbulente.

La plupart des modèles utilisés à l'étude de la dispersion atmosphérique partent de l'équation précédente (II.3) après la linéarisation on néglige le terme de diffusion moléculaire et où l'on ne retient que les éléments diagonaux du tenseur de diffusivité:

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial t} + U_i \frac{\partial \overline{C}}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_{ii} \frac{\partial \overline{C}}{\partial x_i} \right) + S \quad (\text{II.5})$$

Cette équation représente la forme générale de la loi de Fick dans le cas d'une diffusion tridimensionnelle , non homogène, non isotrope.

La résolution de cette équation nécessite l'introduction de profils de diffusivité  $K_{ii}$  qui permettent d'exprimer les caractéristiques turbulentes de l'écoulement..

## II.5 Formules de diffusion

Plusieurs auteurs ont cherché à donner une solution analytique à l'équation de diffusion en imposant certaines hypothèses et conditions aux limites.

Actuellement il existe quatre formules usuelles pour calculer la concentration massique au sol C ( x,y,O,H) :

**II.5.1 Formule de BOSANQUET et PEARSON**

$$C(x,y,O,H) = \frac{q_m}{\sqrt{2\pi} pq x^2 U} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{px}\right)^2 - \frac{H}{px}\right] \quad (\text{II.6})$$

**II.5.2 Formule de SUTTON**

$$C(x,y,O,H) = \frac{2 q_m}{C_y C_z x^{2-n} U \pi} \exp\left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y} + \frac{H^2}{C_z}\right)\right] \quad (\text{II.7})$$

**II.5.3 Formule de CALDER**

$$C(x,y,O,H) = \frac{q_m U}{2 K^2 a U_*^2 x^2} \exp\left[-\frac{U}{K U_* x} \left(\frac{y}{a} + H\right)\right] \quad (\text{II.8})$$

**II.5.4 Formule de PASQUILL**

$$C(x,y,O,H) = \frac{q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (\text{II.9})$$

Avec :

x, y et H représentant les coordonnées à la source,

$q_m$  est le débit masse émis,

H est la hauteur effective de la cheminée,

$C_y$  et  $C_z$  sont deux paramètres qui dépendent de la turbulence du milieu.

$\sigma_y$  et  $\sigma_z$  représentent les écarts-types des distributions latérale et verticale des concentration,

U : vitesse du vent (m/s).

n ( $0 < n < 1$ ) : est un nombre caractéristique des conditions météorologiques.

Le choix entre ces formules c'est selon les situations météorologiques par exemple les formules de BOSANQUET et PEARSON, et CALDER ne s'appliquent que dans le cas d'une atmosphère neutre, par contre la formule de SUTTON et PASQUILL sont utilisées dans tous les cas de stabilité. Pour cela, PASQUILL proposé les lois de variation de  $\alpha_y$  et  $\alpha_z$  pour les tous les cas stabilité de l'atmosphère.

**II.5.5 Différents états de l'atmosphère**

L'atmosphère est divisée en plusieurs états de stabilité qui varie en fonction de plusieurs paramètres comme le rayonnement solaire et la vitesse du vent. Dans la littérature ces états appelle aussi classe sont noté par les lettres A, B, C, D, E, F

**Ces lettres signifient :**

**Classe A : très instable**

**Classe B : instable**

**Classe C : légèrement instable**

**Classe D : neutre**

**Classe E : stable**

Classe F : très stable

Vitesse du vent ( à 10 m)	Jour			Nuit	
	Rayonnement solaire incident			nébulosité comprise entre 4/8 et 7/8	nébulosité ≤ 3/8
	Fort	Modéré	Faible		
< 2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Tableau II.1 : Classes de stabilité de l’atmosphère selon PASQUILL.

Où

Rayonnement solaire fort signifie  $RS \geq 600 \text{ w/m}^2$

Rayonnement solaire modéré  $300 \text{ w/m}^2 < RS < 600 \text{ w/m}^2$

Rayonnement solaire t faible  $RS \leq 300 \text{ w/m}^2$

Sutton a proposé une solution analytique à l’équation de diffusion (II.3)

$$C(X,Z,O,H) = \frac{2 q_m}{C_y C_z x^{2-n} U \pi} \exp\left[ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{Z^2}{C_y} + \frac{H^2}{C_z} \right) \right]$$

Sutton suppose que  $C_y = C_z$  pour  $Z \geq 25$  dont les valeurs sont regroupés dans le tableau cidessus

Etat de stabilité	N	Z au-dessus du sol (m)			
		25	50	75	100
Instable	0.20	0.21	0.17	0.16	0.12
Neutre	0.25	0.12	0.10	0.09	0.07
Modérément Stable	0.33	0.08	0.06	0.05	0.04
Stabilité	0.50	0.06	0.05	0.04	0.03

Tableau II.2 : Valeurs de  $C_y$  et  $C_z$ , et n en fonction de l’altitude Z et la stabilité de l’atmosphère.

## II.6 Modèles de dispersion atmosphérique

La modélisation de la dispersion des polluants gazeux dans l'atmosphère a pour objectif de déterminer les concentrations de ces polluants en tout point de l'espace et à tout instant. Lors de la modélisation il y a trois phénomènes à prendre en considération à savoir le transport la diffusion et le dépôt au sol. La dispersion atmosphérique dépend de plusieurs facteurs tels que les conditions de rejets (Hauteurs effectives de la cheminée, débit d'émission), les conditions météorologiques (vitesse de vent, état de stabilité de l'atmosphère) et la topographie du milieu (nature du sol, présence d'obstacle).

Il existe plusieurs modèles permettant de calculer la dispersion des polluants gazeux parmi lesquels on peut citer :

- Modèles gaussiens : la dispersion est supposée suivre une distribution gaussienne le long des plans perpendiculaires à la direction du rejet.
- Modèles lagrangiens : c'est des modèles qui consistent à suivre le mouvement des polluants (particules, molécules) par rapport au mouvement moyen de la masse d'air.
- Modèles eulériens : La représentation eulérienne de la dispersion des polluants se fait en suivant le mouvement des polluants par rapport à un repère fixe
- Modèles hybrides.

Dans notre travail, nous nous intéressons à l'utilisation du modèle gaussien pour décrire la dispersion atmosphérique à l'échelle local.

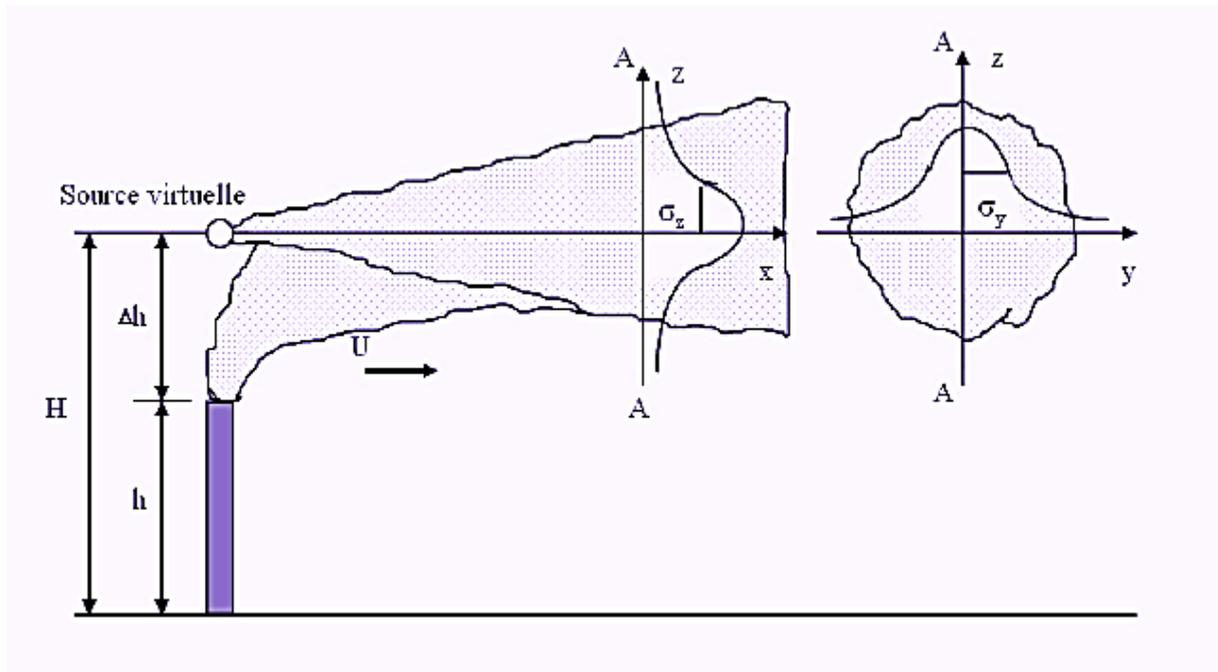
### II.6.1 Modèle Gaussien

C'est un modèle le plus couramment utilisé pour décrire la dispersion à l'échelle locale c'est-à-dire à quelque kilomètre de la source où on peut considérer que le champ de vitesse du vent est homogène. Ce modèle donne de bons résultats à cette échelle tout en fournissant une formulation analytique de la dispersion qui est conceptuellement simple. C'est pourquoi l'utilisation du modèle gaussien est toujours très répandue malgré l'existence des modèles plus complexes.

Ce type de modèle s'applique aussi dans le cas des polluants passifs (inactifs). Dans ce modèle on suppose que le terrain est plat et sans aucun obstacle qui peut perturber l'écoulement de l'air. Avec ces hypothèses les phénomènes de diffusion moléculaires sont négligées par rapport aux phénomènes de diffusion turbulente. Les états de stabilité de l'atmosphère sont pris en considération par l'approche de Sutton.

Cependant, il existe deux types de modèle gaussiens :

1. Le modèle de panache, il modélise le panache émis par une source ponctuelle (cas d'une cheminée) par une distribution gaussienne. dans deux directions (horizontale perpendiculaire au vent, et verticale).
2. Le modèle à bouffées, il décrit une émission instantanée par une bouffée gaussienne dans les trois directions. La différence entre ces deux modèles, les hypothèses faites dans les deux cas.



**Figure II.2** Représentation de la dispersion atmosphérique des polluants selon le modèle gaussien

### II.6.2 Estimation de la sur-hauteur

Le point de départ de la trajectoire des polluants est le sommet de la cheminée. Lorsque les rejets de polluants sont chauds, on doit prendre en compte de la sur hauteur du panache. En effet, les fumées vont s'élever au-dessus de la cheminée à cause de la différence entre air/fumées. Le modèle gaussien (cas d'une cheminée) tient en considération de cette surhauteur qui est La différence entre la hauteur du jet et la hauteur finale atteinte par

Plusieurs formules ont été fournies dans la littérature pour décrire le phénomène de surhauteur d'un panache de polluants. Ils ont tous donné une estimation de cette surhauteur en supposant que la hauteur finale dupanache est atteinte instantanément à la sortie de la source avant tout déplacement horizontal du panache.

Nous nous contenterons d'exposer les formules les plus souvent utilisées et qui donnent une meilleure estimation

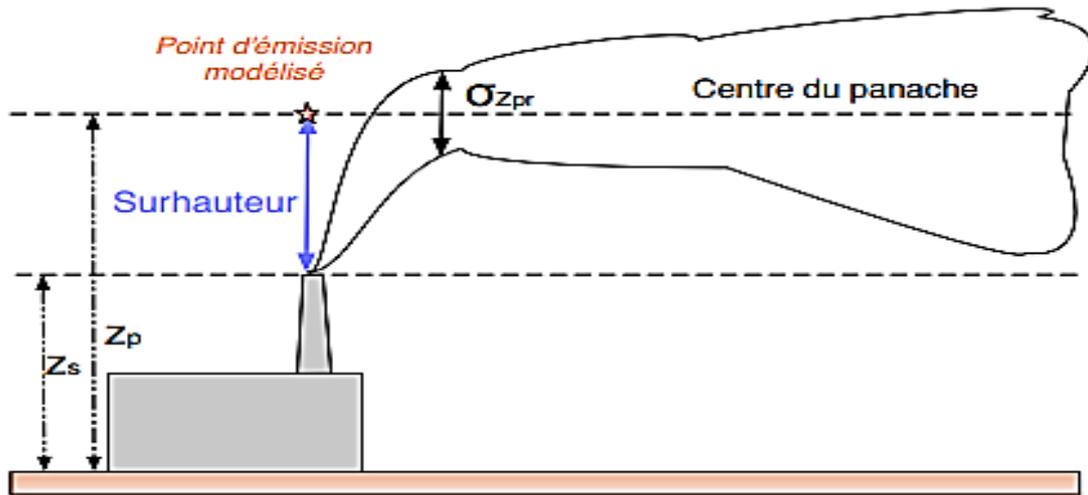


Figure II.3 Schéma illustrant le phénomène de surhauteur dans le modèle gaussien

### II.6.3 Formule de Lucas

Pour calculer la surhauteur Lucas a proposé la formule suivante :

$$\Delta H = \alpha \frac{Q^{1/4}}{U} \quad (\text{II.10})$$

Avec :  $\alpha = 475 + 2/3 (h_0 - 100)$

Où  $h_0$  est la hauteur géométrique de la cheminée

Le terme  $2/3(h_0 - 100)$  tient compte de la décroissance du taux de turbulence de l'atmosphère en altitude.

Cette formule est basée sur des mesures expérimentales effectuée sur les sites de plusieurs centrales énergétiques. Le coefficient  $\alpha$  varie en fonction du site, des conditions de stabilité atmosphérique et du type de cheminée.

### II.6.4 Formule de Holland

Cette formule a été établie à partir des expériences faites en soufflerie et complété par des observations faites sur des panaches émis par des cheminées de faible hauteur. Dans cette formule Holland tient compte de la vitesse d'éjection, du diamètre de la cheminée et la puissance calorifique de la centrale énergétique.

La formule proposée par Holland est donnée par :

$$\Delta H = 1,5 d \frac{W_0}{U} + 9,56 \frac{Q}{U} \quad (\text{II.11})$$

Où :

$d$ : Diamètre intérieur de la cheminée [m]

$W_0$ : Vitesse d'éjection à l'émission (m/s)

$Q$ : Flux de chaleur à la sortie de la cheminée (MW)

$U$ : Vitesse du vent (m/s).

### II.6.5 Formule de concawe

Cette formule est donnée par :

$$\Delta H = 86 \frac{Q^{1/2}}{U^4} \quad (\text{II.12})$$

Cette formule a été établie principalement à partir des mesures expérimentales, elle est classée parmi les meilleures formules estimant la surhauteur dans le cas des centrales de faible puissance.

### II.6.6 Formule de Bringfelt

Bringfelt a proposé plusieurs formules

$$\Delta H = \frac{103}{U} Q^{0,39} \text{ pour } X=250\text{m} \quad (\text{II.13.a})$$

$$\Delta H = \frac{103}{U} Q^{0,36} \text{ pour } X=500\text{m} \quad (\text{II.13.b})$$

$$\Delta H = \frac{103}{U} Q^{0,34} \text{ pour } X=1000\text{m} \quad (\text{II.13.c})$$

Ces formules ont été fondées sur un grand nombre d'expériences. Pour des distances comprises 250m et 500m Bringfelt a remarqué que le panache évolue en fonction de la distance suivant une loi  $X^{2/3}$ .

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons examiné en première partie les mécanismes de la dispersion atmosphérique c'est-à-dire comment évolue un polluant dans l'atmosphère jusqu'au dépôt au sol. Par la suite nous avons abordé le problème de la modélisation du phénomène de la dispersion atmosphérique ainsi que les différents modèles existants et leurs domaines d'applications

**Références bibliographiques**

- [1] K. H. Müller "Diffusion of reacting pollutants" ,Amz-Security-ed May 27, 2021).
- [2] "Qualité et pollution de l'air en France | Ministère de la Transition écologique, santé juin 2019.
- [3] P. Cellier, "Processus de transfert atmosphérique de polluants dans les agrosystèmes," *La Houille Blanche*, vol. 85, no. 5, pp. 70–75, 1999.
- [4] Brandt, J. , "Modelling Transport, Dispersion and Deposition of Passive Tracers from Accidental Releases", Thèse de doctorat, National Environmental Research Institute. 1998.
- [5] C. S. Cerea, "Cours de "Modélisation de la pollution atmosphérique" , 2010.
- [6] <https://tel.archives-ouvertes.fr>, May 16, 2021.
- [7] Korsakissoket Mallet, "Subgrid-scale treatment for major point sources in an Eulerian model ,the European Tracer Experiment 2010.
- [8] Mallet, and all "The air quality modeling system Polyphemus. Atmos", Chem. Phys.. 2007.
- [9] Yamartino, R." Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software",Vol III-Special Issues.EnviroComp Institute and the Air & Waste Management Association.

# Chapitre III

## Résultats et Discussions

Application A une centrale Energétique

## Introduction

Après avoir introduit dans le chapitre précédent les éléments de base nécessaires à cette étude, dans ce chapitre nous présentons les différents résultats de modélisation du phénomène de dispersion des polluants gazeux émis par centrale énergétique où l'évacuation des polluants se fait à travers une cheminée. L'analyse de ces résultats nous a permis d'identifier les différents paramètres pouvant influencer cette dispersion.

### III. Application du modèle Gaussien

Nous cherchons à représenter la dispersion des polluants émis par une cheminée d'une centrale énergétique, en supposant que la distribution des concentrations est gaussienne

#### Hypothèses prises en compte

Nous considérons que :

- L'émission est ponctuelle et continue (panache stable entre la source et un point observé le plus lointain),
- Le débit d'émission est constant.
- Des vitesses de vent suffisamment importantes qui permet de négliger la diffusion turbulente dans la direction du vent par rapport à l'advection.
- Des conditions météorologiques uniformes et constantes.
- Une topographie simple.

Les modèles gaussiens sont des modèles semi-analytiques, basés sur une résolution analytique de l'équation d'advection-diffusion, régissant la dispersion turbulente, couplée avec des paramétrisations semi-empiriques des principaux processus physico-chimiques.

Suivant ces hypothèses la concentration C des polluants une résolution analytique de l'équation d'advection-diffusion, (chapitre II équation II.7), elle se présente sous forme d'une gaussienne et donnée par :

$$C(x,y,O,H) = \frac{2 q}{C_y C_z x^{2-n} U \pi} \exp\left[ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{y^2}{C_y} + \frac{H^2}{C_z} \right) \right]$$

Avec :

q : est le débit masse émis (kg /s).

H est la hauteur effective de la cheminée ,

$$H = H_0 + \Delta H$$

Où :

H<sub>0</sub> est la hauteur géométrique de la cheminée

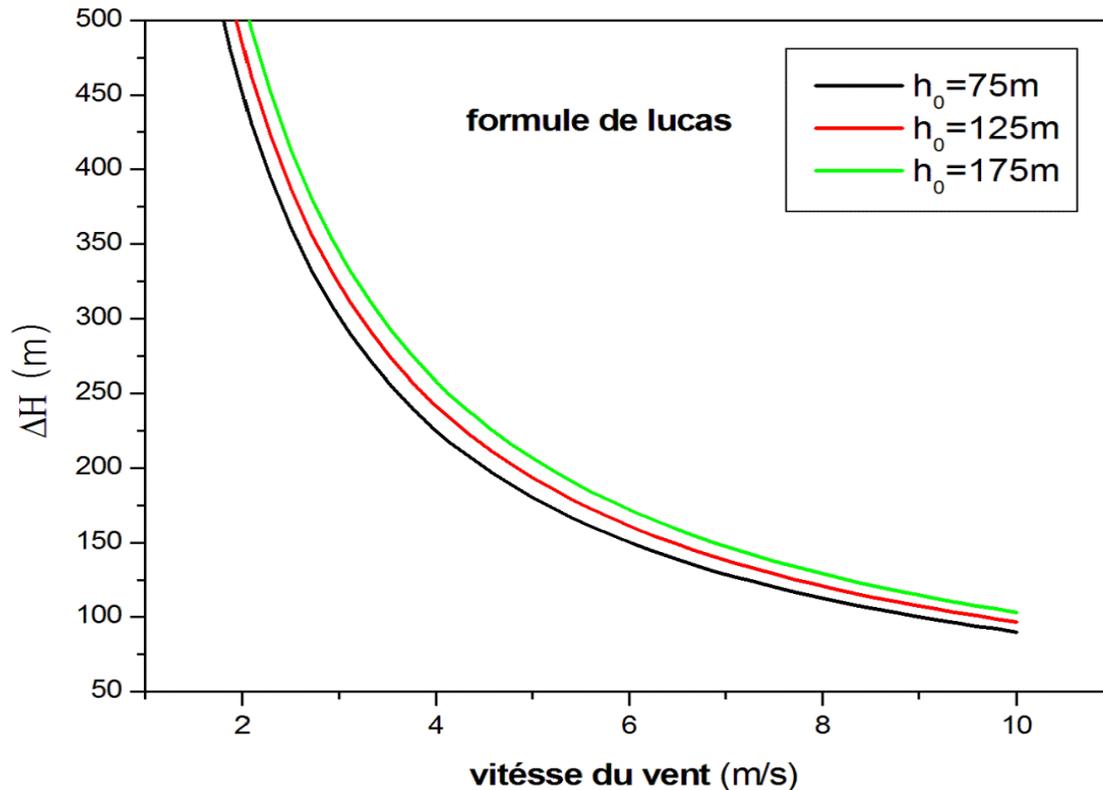
$\Delta H$  est la sur-hauteur

$C_y$  et  $C_z$  représentent les écarts-types de diffusion qui tiennent compte de la turbulence sont édictées par Sutton (Tableau II.1)

U et la vitesse du vent.

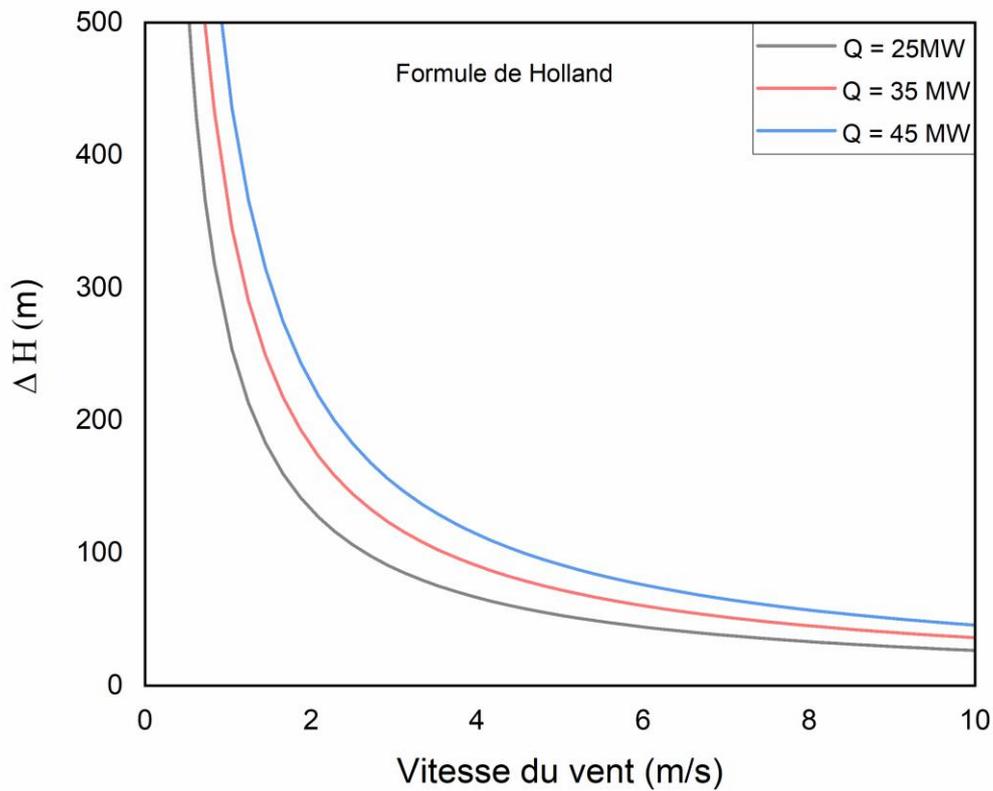
Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent dans le modèle gaussien l'estimation du paramètre de sur-hauteur est fondamentale

### III.1 Variation de la sur-hauteur



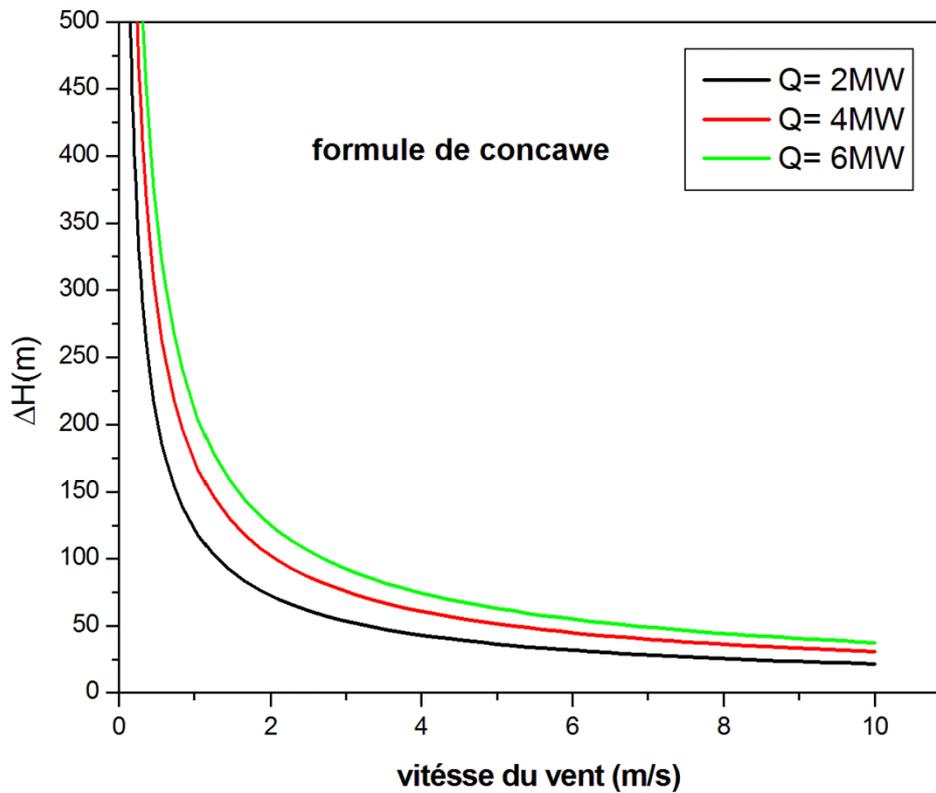
**Figure III- 1** Variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent U pour différentes valeurs de  $H_0$  (hauteur géométrique de la cheminée) avec  $Q = 10$  MW

La figure III.1 représente la variation de la surhauteur  $\Delta H$  (m) en fonction de la vitesse du vent U (m/s) donnée par Lucas. On aperçoit clairement que pour différentes valeur de  $h_0$  (hauteur géométrique de la cheminée), la surhauteur  $\Delta H$  augmente, par contre pour la vitesse du vent, on observe que plus la vitesse du vent augmente plus les valeurs de la surhauteur  $\Delta H$  diminue. Au delà de  $H_0 = 175m$  la formule de Lucas devient invalide.



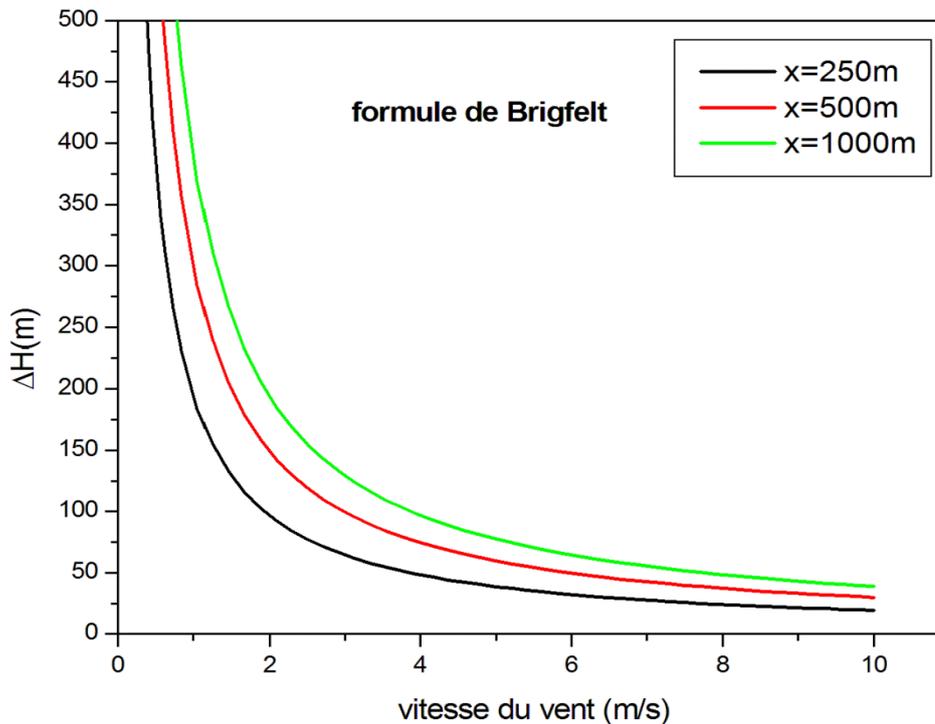
**Figure III- 2** Variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  pour différentes puissances calorifique  $Q$  (MW)

Sur la figure III.2 on reporte la variation de la surhauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  pour différentes puissances calorifiques de la centrales  $Q$  selon la formule de Holland, dans laquelle Holland tient compte des effets mécaniques et des effets thermiques séparément.. D'après le graphe on constate aussi que plus la vitesse du vent augmente plus le  $\Delta H$  diminue Dans les trois cas on remarque une élévation  $\Delta H$  avec l'augmentation de la puissance calorifique de la centrale  $Q$  et ceci pour des puissances assez importante.



**Figure III- 3** Variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  pour différentes puissances calorifique  $Q$  (MW)

La figure III.3 illustre la variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  en utilisant la formule de Concawe. Le  $\Delta H$  diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent  $U$ . On observe aussi que cette variation augmente au fur et à mesure que la puissance calorifique  $Q$  de la centrale énergétique augmente. Cette formule est valable pour des centrales à puissances faibles.



**Figure III- 4** Variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  et la distance  $X$  à la source

La figure III.4 représente aussi la variation de la sur-hauteur  $\Delta H$  en fonction de la vitesse du vent  $U$  selon Briggs, qui tient compte des distances  $X$  à la source. Il a remarqué que  $\Delta H$  varie en suivant une loi  $X^{2/3}$ , au delà de  $X=1000\text{m}$  cette formule n'est plus vérifiée car il y a les phénomènes de turbulences atmosphériques qui entrent en jeu.

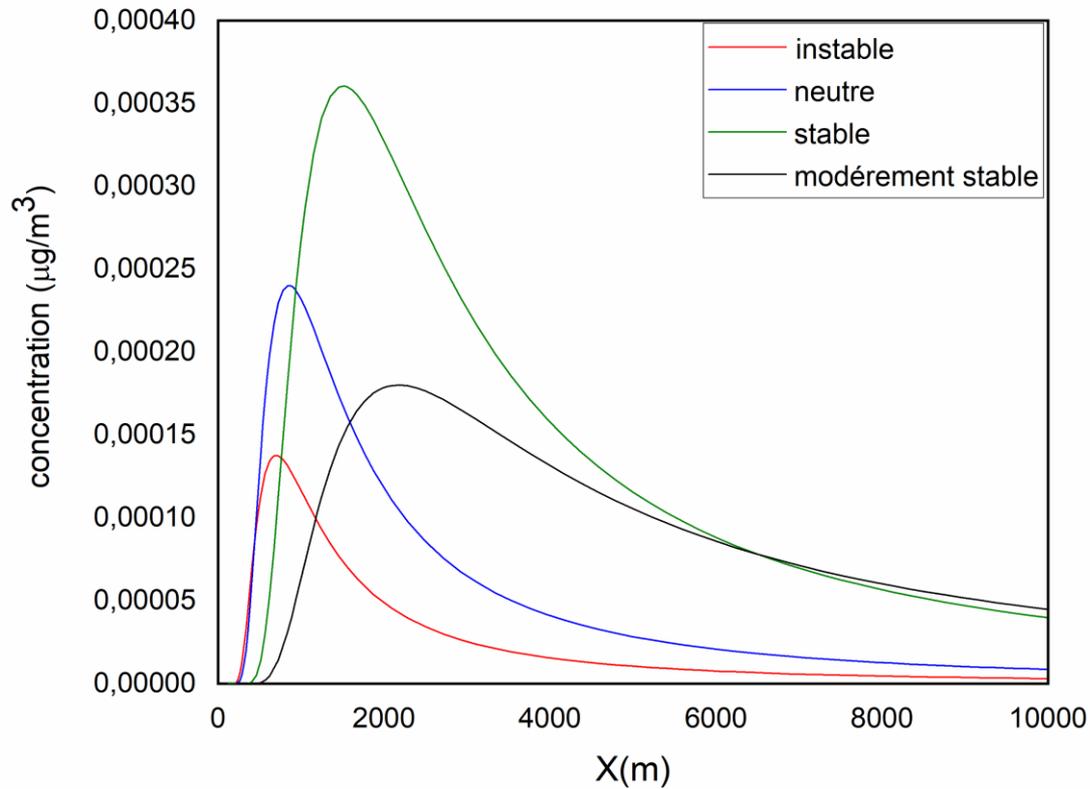
En conclusion, l'estimation de la sur-hauteur  $\Delta H$  atteinte par un panache de polluants décrite à travers ces différentes formules qui ont été proposées sur la base des mesures expérimentales, on remarque l'importance de certains paramètres tels que : la vitesse du vent, la hauteur géométrique de cheminées et la puissance calorifique de la centrale énergétique qui vont par la suite influencer sur la concentration des polluants.

### III.2 Calcul des concentrations des polluants

En tenant des hypothèses citées précédemment, le modèle de dispersion gaussien utilisé est basé sur les écarts-types de Sutton, la surélévation du panache est donnée par Concawe.

### III.3 Facteurs influençant la dispersion atmosphérique des polluants

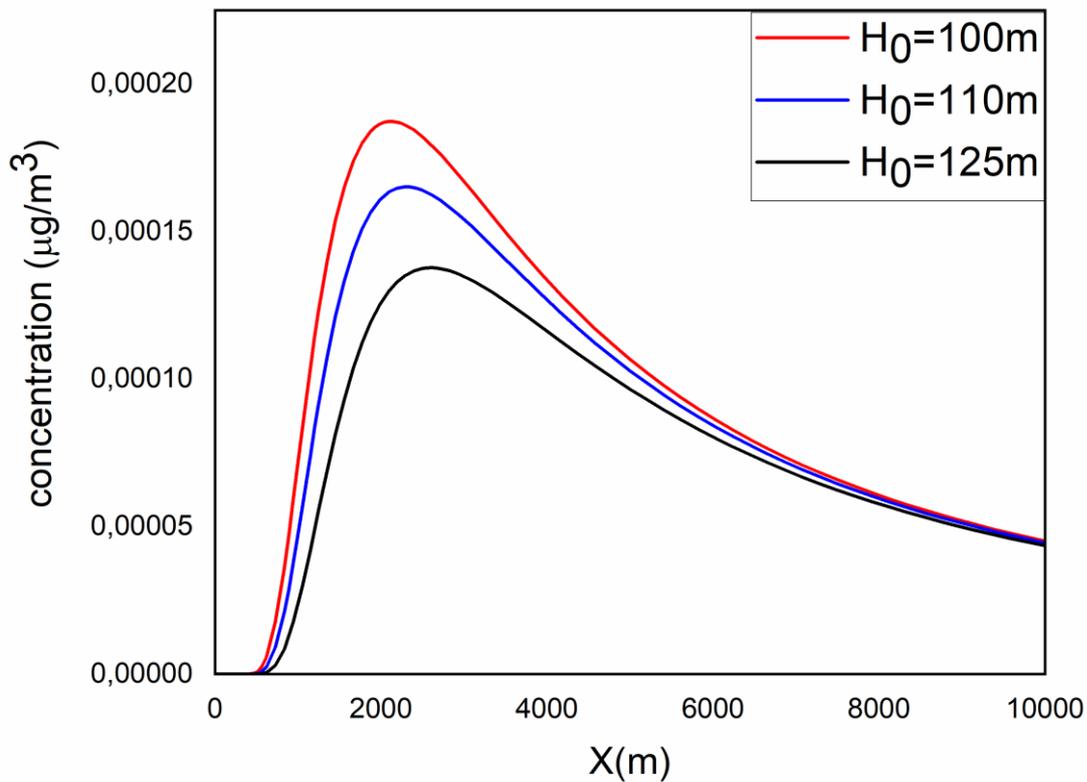
#### III.3.1 Influence de la stabilité de l'atmosphère



**Figure III- 5 Evolution de la concentration C en fonction de la distance X a la source pour différents états de l'atmosphère**

Sur la figure III.5 on représente l'évolution de la concentration en fonction de X pour différentes situations de l'atmosphère. On remarque lorsque l'atmosphère est instable on a une bonne dispersion des polluants ; en effet dans une telle situation l'air est plus chaud au voisinage du sol qu'en altitude donc les polluants ont tendance à s'élever et à se disperser ; Par contre lorsque l'atmosphère est stable l'air est plus froid qu'en altitude et les polluants ont tendance à s'accumuler au niveau du sol donc une atmosphère stable freine la dispersion des polluants. Dans le cas où l'air et les polluants sont à la même température on est dans le cas neutre et c'est une situation entre le cas stable et le cas instable. Lorsque l'atmosphère est modérément instable la dispersion est assez bonne.

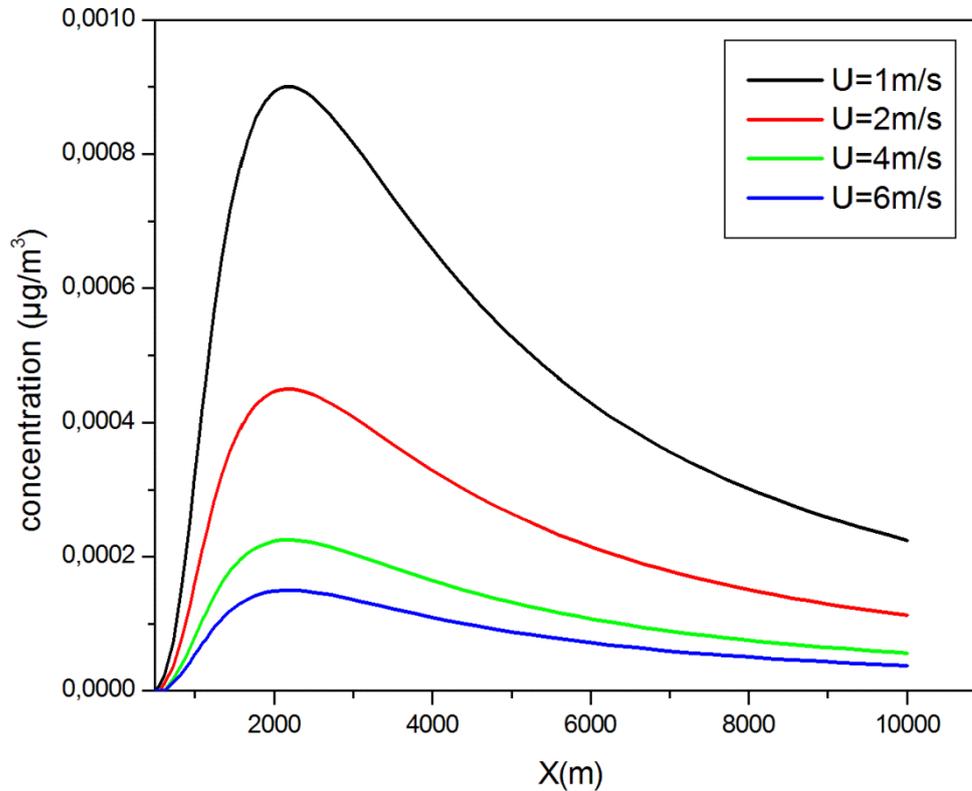
### III.3.2 Influence de la hauteur



**Figure III- 6** Evolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance  $X$  a la source pour différents états de l'atmosphère pour différentes Hauteurs géométriques  $H_0$

Le graphe III.6 représente l'évolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance  $X$  pour différentes Hauteurs géométriques. On voit qu'au fur à mesure qu'on s'éloigne de la source d'émission de la pollution la concentration diminue et un élargissement du pic avec l'augmentation de la hauteur c'est-à-dire que le panache de polluants est plus étalé. Donc pour avoir une bonne dispersion des polluants il faut augmenter la hauteur géométrique de la cheminée.

### III.3.3 Influence de la vitesse du vent



**Figure III- 7 Evolution de la concentration C en fonction de la distance X a la source pour différents états de l'atmosphère pour différentes valeurs de la vitesse du vent**

Sur les figures III.7 on représente la variation de la concentration des polluants en fonction de la distance pour différentes vitesses de vent. On observe que plus la vitesse du vent augmente plus les pics de concentrations s'élargissent et les niveaux de concentration à l'approximative la source diminuent. En effet, une fois les polluants sont émis dans l'atmosphère ils sont transportés sous l'effet du vent et plus cette vitesse augmente plus les mouvements de turbulences deviennent importantes et ceci se manifeste par une dispersion rapide des polluants.

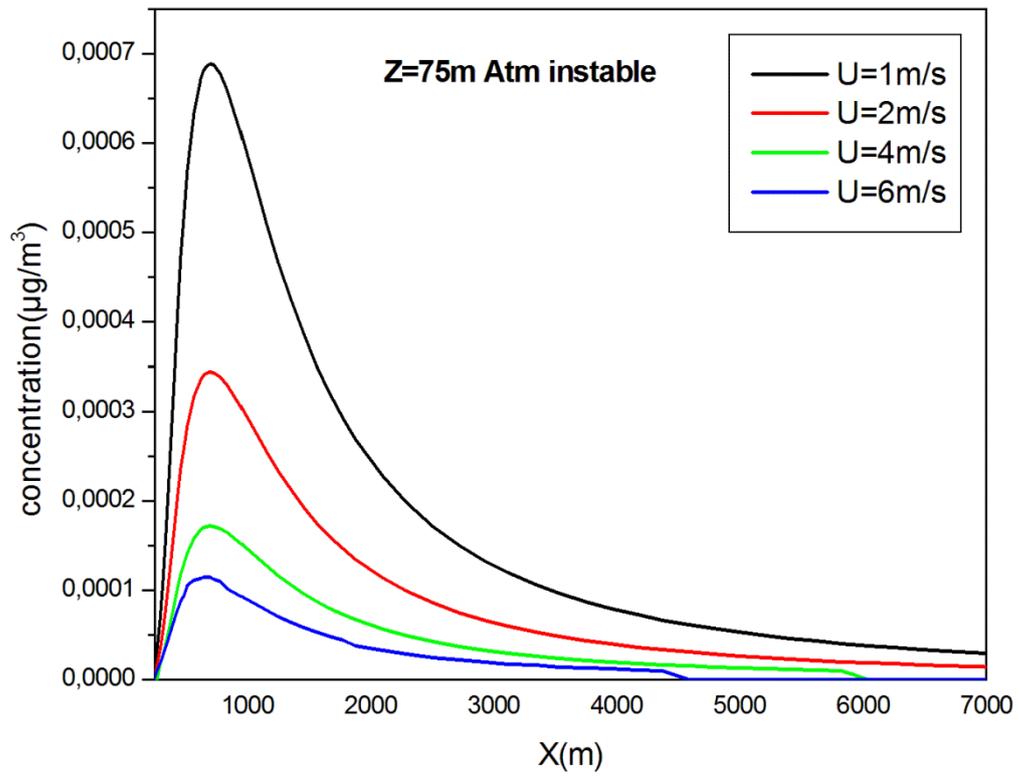
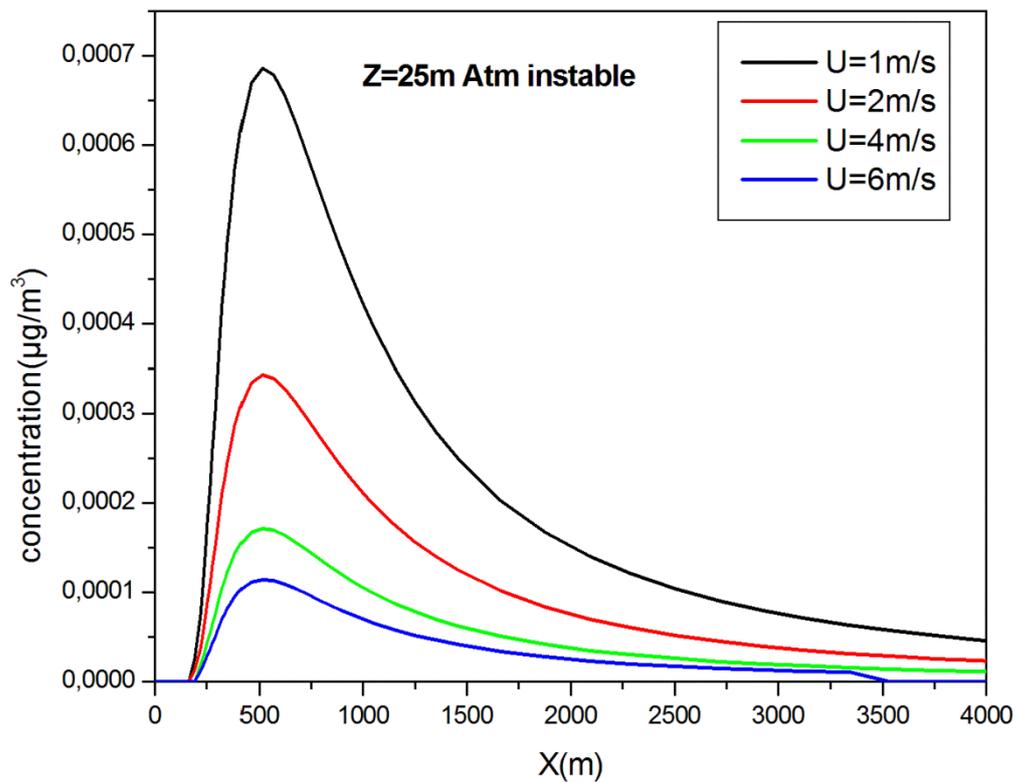
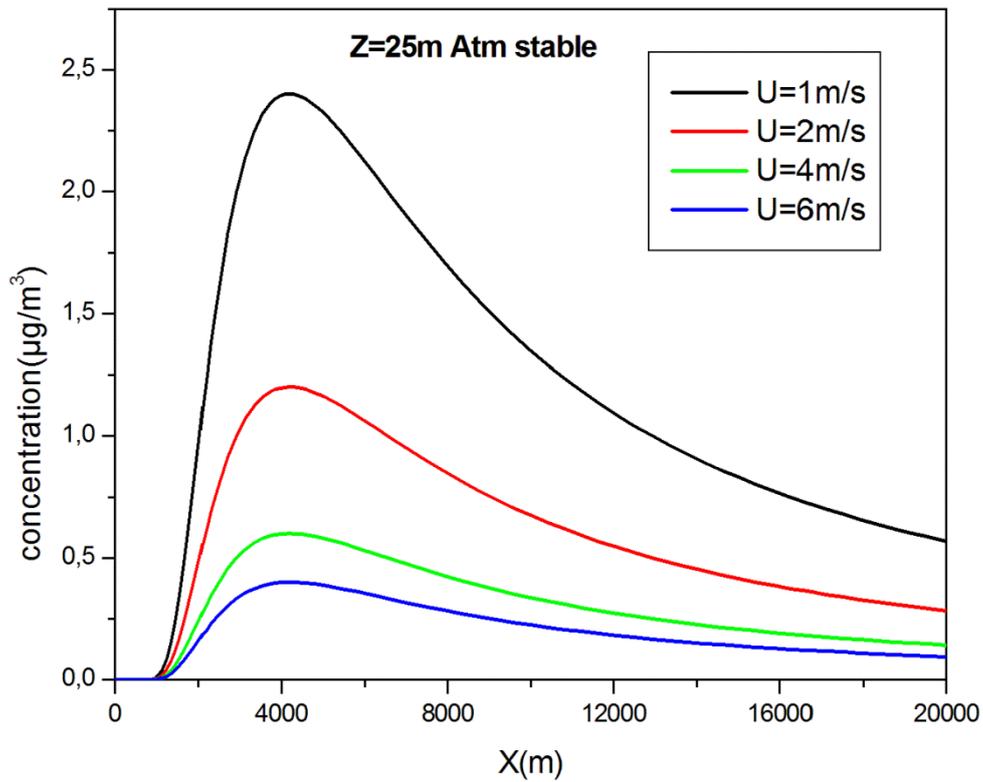


Figure III- 8 Evolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance à une altitude  $Z= 75\text{m}$  pour différentes valeurs de la vitesse du vent cas d'une atmosphère Instable

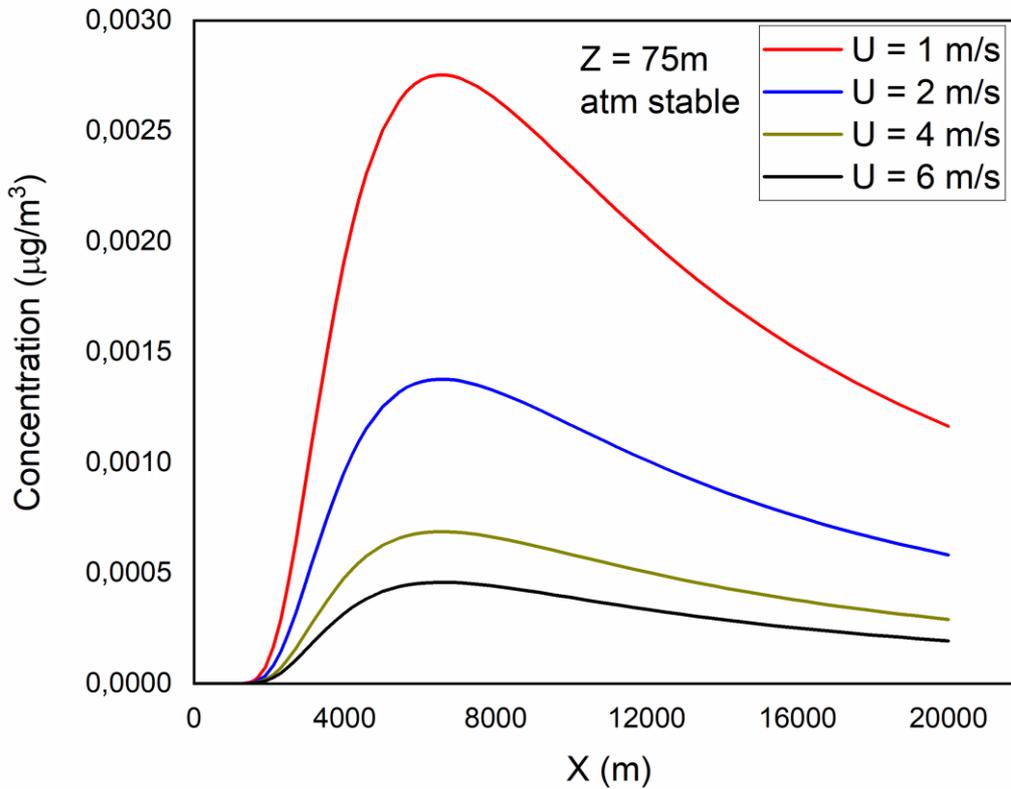


**Figure III- 9 Evolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance  $X$  a la source pour différents états de l'atmosphère à une altitude  $Z= 25\text{m}$  pour différentes valeurs de la vitesse du vent cas d'une atmosphère instable**

Sur les figures (III.8 et III.9) on reporte l'évolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance  $X$  à des altitudes différentes et différentes valeurs de la vitesse du vent. On remarque que le passage d'une altitude de  $Z = 25\text{m}$  à une altitude de  $Z = 75\text{m}$  dans une situation où l'atmosphère est instable permet d'augmenter les fréquences des vitesses de vent favorisant ainsi une bonne dispersion.



**Figure III- 10** Evolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance à une altitude  $Z= 25\text{m}$  pour différentes valeurs de la vitesse du vent cas d'une atmosphère stable



**Figure III- 11** Evolution de la concentration  $C$  en fonction de la distance  $X$  a la source pour différents états de l'atmosphère à une altitude  $Z= 75\text{m}$  pour différentes valeurs de la vitesse du vent cas d'une atmosphère stable

Les figures III.10 et III.11 illustrent la variation de la concentration en fonction de la distance  $X$  pour une altitude de  $Z= 25\text{m}$  et  $Z = 75\text{m}$  pour une atmosphère stable on constate bien une altitude faible et un état atmosphérique stable freine la dispersion.

### Conclusion

La dispersion atmosphérique des polluants est un phénomène qui fait appel à plusieurs disciplines (physique, chimie et météorologie) ce qui rend la modélisation de ce phénomène complexe.

L'analyse des résultats obtenus à travers cette étude nous a permis de conclure que les facteurs vitesse du vent et états de stabilité de l'atmosphère conditionnent énormément la dispersion des polluants par rapport à la hauteur géométrique de la cheminée.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Dans le présent travail nous avons examiné le problème de la modélisation du phénomène de la dispersion atmosphérique des polluants ainsi que les paramètres influençant cette dispersion. Pour ce faire nous avons utilisé un modèle Gaussien, qui est un modèle très utilisé car il décrit avec une certaine fiabilité le phénomène réel dans le cas d'une cheminée à l'échelle locale.

Dans une première étape nous avons étudié la variation de la surhauteur dont dépend directement la concentration des polluants

Dans la seconde partie nous avons déterminé la concentration des polluants émis par une cheminée d'une centrale énergétique en fonction de la distance à la source. Nous remarquons que le modèle gaussien donne des résultats assez bons des concentrations des polluants dans le cas d'une cheminée à l'échelle locale.

Après avoir été émis dans l'atmosphère les polluants vont se déplacer sous l'effet de plusieurs facteurs extérieurs comme :

- La hauteur effective H
- L'état de stabilité de l'atmosphère qui elle-même dépend des conditions météorologiques.
- La vitesse du vent en comparant plusieurs situations de dispersion, nous avons constaté que la vitesse du vent est un facteur majeur c'est-à-dire il influt énormément sur la dispersion des polluants.

D'une manière générale, cette étude peut constituer un outil d'aide à la décision et apporter des solutions aux problèmes posés par la pollution atmosphérique comme par exemple le cas d'une centrale énergétique :

- La bonne estimation de la surélévation du panache.
- La connaissance des conditions météorologiques les plus pénalisantes pour la dispersion des polluants.
- Les niveaux de concentrations des polluants diminuent d'une manière remarquable la pollution.

### Références bibliographiques

- [1] Irène Bourdin-Korsakissok, thèse de doctorat « Changements d'échelles en modélisation de la qualité de l'air et estimation des incertitudes associées » l'Université Paris-Est, 2009.
- [2] Korsakissok et Mallet, « Development and application of a reactive plume-in-grid model » Paris. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 2010.
- [3] R. Yamartino, “ Air quality modeling “ Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software. Vol III-Special Issues. EnviroComp Institute and the Air & Waste Management , 2008.
- [4] J. Weil, J. “ Dispersion in the convective boundary layer “, Lectures on Air Pollution modeling. American Meteorological Society. 66, 114, 1988.
- [5] Y. Mouilleau and all, « Dispersion atmosphérique : Mécanismes et outils de calcul », Rapport du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2002
- [6] Catherine Sabastia , « Etude de dispersion atmosphérique en vue d'une évaluation des risques sanitaires (ERS) - Future centrale thermique au charbon de Doniambo (Nouvelle-Calédonie) » Rapport ARIA- Technologie, 2014.

## Résumé

La pollution atmosphérique est responsable, selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) de la mort de 2,4 millions de personnes dans le monde chaque année. Les millions de tonnes de polluants émis chaque année dans l'environnement sont responsables d'énormes problèmes pour notre planète comme le réchauffement climatique, la désertisation des sols, le trou de la couche d'Ozone, la disparition de certaines espèces animales et végétales ainsi que la diminution des sources hydrauliques. Sur la santé humaine ils causent des troubles cardiaques, des cancers et favorisent également les maladies respiratoires. Ces problèmes sont devenus ces dernières années une préoccupation permanente pour les scientifiques, les pouvoirs publics et même la société civile. C'est dans ce contexte que porte notre travail. Nous nous intéressons plus particulièrement à la modélisation de la pollution atmosphérique à l'échelle locale d'une centrale énergétique (cas d'une cheminée) ainsi que les facteurs influençant cette dispersion.

**Mots clés :** pollution, atmosphère, dispersion, concentration, polluants gazeux, modèle de dispersion.

## Summary

Air pollution is responsible, according to the World Health Organization (WHO), for the death of 2.4 million people worldwide each year. The millions of tonnes of pollutants emitted into the environment each year are responsible for huge problems for our planet such as global warming, soil desertization, the hole in the ozone layer, the disappearance of certain animal and plant species, the reduction in hydraulic sources. On human health they cause cancer and also promote respiratory diseases. These problems have become in recent years a permanent concern for scientists, public authorities and even civil society. It is in this context that our study ends. We are more particularly interested in the modeling of atmospheric pollution at the local scale of a power plant (case of a chimney) as well as the influencing factors. this dispersion.

**Keywords:** pollution, atmosphere, dispersion, concentration, gaseous pollutants, dispersion model.

## ملخص

تلوث الهواء مسؤول ، وفقاً لمنظمة الصحة العالمية ، عن وفاة 2.4 مليون شخص في جميع أنحاء العالم كل عام. ملايين الأطنان من الملوثات المنبعثة كل عام في البيئة مسؤولة عن مشاكل هائلة لكوننا مثل الاحتباس الحراري وتصحر التربة ،

التقرب في طبقة الأوزون ، واختفاء بعض الأنواع الحيوانية والنباتية ، وانخفاض المصادر الهيدروليكية. على صحة الإنسان فإنها تسبب مشاكل في القلب والسرطان وأيضا تزيد من أمراض الجهاز التنفسي. أصبحت هذه المشاكل في السنوات الأخيرة مصدر قلق دائم للعلماء والسلطات العامة وحتى المجتمع المدني. في هذا السياق يتم تنفيذ عملنا ، نحن مهتمون بشكل خاص بنمذجة تلوث الغلاف الجوي على النطاق المحلي لمحطة توليد الطاقة (حالة المدخنة) وكذلك العوامل التي تؤثر على هذا التشتت.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث ، الغلاف الجوي ، التشتت ، التركيز ، الملوثات الغازية ، نموذج التشتت.