



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf

Faculté de **PHYSIQUE**
Département de **GENIE PHYSIQUE**

THÈSE

*En vue de l'obtention du
Diplôme de :*

Doctorat en Sciences

Spécialité : PHYSIQUE

Option : PHYSIQUE ET SES APPLICATIONS – MATIERE MOLLE

Intitulée :

CARACTERISTIQUES ET MODELES DE DISPERSION D'UNE SOURCE DE POLLUTION

Présenté et Soutenu par :
FARES Redouane

Le jury est composé de :

Pr. LOUNIS Mourad

Pr. ABDELOUAHAB Mohamed

Pr. AIT SAADI Bachir

Pr. NEMDILI Ali

Pr. MOHAMMED SI MOHAMMED Arezki

Pr. DOUAOUI Abdelkader

Rapporteur

Président

Examineur

Examineur

Examineur

Examineur

C.U. Khemis Miliana

USTMB ORAN

USTMB ORAN

USTMB ORAN

ASAL ORAN

C. U. TIPAZA

Remerciement

Je tiens tous d'abord, à remercier mon Dieu Tout-Puissant qui m'a donné le courage, la sagesse et la patience pour terminer ce travail de thèse de doctorat. Dans ses mots sacrés, je trouve toujours l'envie de continuer. «Celui qui n'a pas remercié les gens, n'avait pas remercié dieu», à cet égard :

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements d'abord à mon directeur de thèse Monsieur **LOUNIS Mourad**, Professeur à l'Université de Khemis Miliana, mon encadreur, qui m'a suivie et soutenue pendant l'élaboration de ce travail de recherche;

J'exprime également mes sincères remerciements à Monsieur **ABDELOUAFAB Mohamed** Professeur à l'USTO de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma thèse de doctorat;

Je suis honoré de compter parmi les membres du jury Messieurs les professeurs **AIT SAADI Bachir**, **NEMDILI Ali** de l'Université USTO-MB, **MOHAMMED SI MOHAMMED Arezki** de l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) d'ORAN et **DOUAOUI Abdelkader** du Centre universitaire de TIPAZA à qui j'exprime mes sincères remerciements d'avoir expertiser mon mémoire de thèse et d'avoir accepté de faire partie du jury.

J'exprime toute ma gratitude au personnel de l'entreprise «Fertial-ARZEW» pour leurs aides sans lesquelles ce travail n'aurait pas eu lieu ainsi que pour leurs accueils chaleureux qu'ils m'ont réservé chaque fois que je les sollicite; merci du fond du cœur.

Je profite de cette occasion pour remercier mes amis : Messieurs **SERIR LaKhal**, **MANSOUR Ibrahim** et **DJELLAD Mohamed** pour leurs précieuses aides qu'ils m'ont apporté dans la réalisation de ce travail de recherche scientifique.

Mes vifs remerciements vont à ma femme pour son soutien, ses sacrifices, son aide inestimable, sa participation efficiente, ainsi que son soutien moral et sa gentillesse sans égal le long de toutes les longues années de magister et de doctorat. Sans oublier, je profite de cette occasion pour remercier mes chers parents ainsi que mes trois enfants.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, de près ou de loin, pat ou par un geste.

Merci

Sommaire

Liste des sigles et abréviations	
Liste des tableaux et des figures	
Introduction générale	
Chapitre I : Paramètres caractéristiques et modèle mathématique de la dispersion de la pollution maritime	4
1 Les différents types de polluants	5
1.1 Les macros et les micropolluants	6
1.2 La pollution chimique (acidité, salinité, et couleur)	6
1.2.1 Les paramètres chimiques environnementaux	8
1.2.2 Demande chimique en oxygène (DCO) – Oxydabilité	8
1.2.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)	8
1.2.4 Les huiles et graisses	9
1.2.5 Les substances eutrophisantes	9
1.2.6 Carbone organique total (COT)	11
1.2.7 Les métaux lourds	12
1.3 La pollution physique (température et matière en suspension MES)	13
1.4 La pollution biologique	16
2 Méthode d'échantillonnage	19
3 Mesure des paramètres physico-chimiques (modes opératoires)	20
4 Modèle mathématique	22
5 Réglementation mondial et national pour la protection de l'environnement	23
Chapitre II : Modèles mathématiques de la dispersion et paramètres caractéristiques de la pollution atmosphérique	29
1 Généralité sur l'atmosphère	30
1.1 Identification des couches atmosphériques	30
1.2 Composition chimique de l'atmosphère	31
2 Les polluants atmosphériques	33
2.1 Sources de pollution	34
2.2 Les différentes échelles de la pollution atmosphérique	34

Sommaire

2.3 Les principaux polluants et leurs sources	35
3 Technique d'échantillonnage de la pollution atmosphérique	37
4 Les méthodes de mesures et analyse des principaux polluants gazeux	38
5 Définition du Modèle mathématique	41
5.1 Les paramètre la turbulence	41
5.2 Effet de la turbulence sur les équations instantanées de Navier-Stockes	42
5.3 Equations du modèle	43
5.3.1 Equation de continuité	43
5.3.2 Equations de quantité de mouvement	44
5.3.3 Conservation d'énergie	45
5.3.4 L'équation de conservation du contaminant	45
Chapitre III : Présentation de la zone d'étude	47
1 Description et localisation de la zone d'étude	48
2 Les paramètres météorologiques	50
3 Production des fertilisants azotés	52
3.1 Production d'ammoniac	52
3.1.1 Préparation du gaz de synthèse	53
3.1.2 Purification de gaz de synthèse	54
3.1.3 Synthèse d'ammoniac	55
3.2 Production de l'acide nitrique	56
3.3 Production de nitrate d'ammonium (ammonitrate)	58
3.4 Production de Calcium Ammonium Nitrate (CAN)	60
Chapitre IV : Etude expérimentale et simulation numérique de la dispersion des liquides et gazeux – Résultats	63
1 Résultats expérimentaux physico-chimiques des effluents liquides (maritime)	66
1.1 Mesure de température et du pH des eaux usées	66
1.2 Mesure des Matières en suspension (MES)	69
1.3 Mesure des taux de demande biochimique et chimique dans les eaux usées (DBO5 et DCO)	70

Sommaire

1.3.1	Mesure du rapport DBO ₅ /DCO	72
1.3.2	Mesure du rapport MES/DBO ₅	73
1.4	Mesure de la concentration d'huiles et de graisses (H.G)	73
1.5	Mesure du taux d'azote Kjeldahl (NTK) et l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	74
2	Résultats expérimentaux des effluents gazeux (atmosphériques)	77
2.1	Les rejets gazeux annuels RG1 du la première cheminée	77
2.2	Les rejets gazeux annuels RG2 du la seconde cheminée	79
2.3	Les rejets gazeux annuels RG3 du la troisième cheminée	80
3	Contribution numérique à la réduction de la pollution de Ferial	82
3.1	Simulation numérique d'un clarificateur pour les effluents liquides	83
3.2	Simulation numérique d'une cheminée coudée pour les effluents gazeux	86
3.3	Evaluation de l'impact des rejets atmosphérique	94
	Conclusion générale	95

Liste des abréviations

[C]	: La concentration
µg	: Microgramme
µg/L	: Microgramme par litre
µm	: Micromètre
µS/cm	: Micro siemens par centimètre
AEE	: L'Agence Européenne pour l'Environnement
AFNOR	: Agence Française de Normalisation
ANSYS CFX	: Logiciel de dynamique des fluides
APC	: Bureau d'étude d'Architecture et du Centre Publique.
Ca	: Le calcium
CAN	: Calcium Ammonium Nitrate
Cd	: Le cadmium
CLA	: La couche limite atmosphérique
CO ₂	: Le dioxyde de carbone
COT	: Carbone organique total
Cu	: Le cuivre
D	: Coefficient de dispersion
DBO	: Demande biochimique en oxygène
DCO	: Demande chimique en oxygène
F	: Force par unité de volume
Fertial	: Société des Fertilisants d'Algérie
H ₂ SO ₄	: acide sulfurique
IEA	: International Energy Agency
IFA	: International Fertilisers Industry Association
ISO	: International Standard Organisation
JO	: Le Journal Officiel
K ₂ Cr ₂ O ₇	: Dichromate de potassium
L	: Litre
MES	: Matières en suspension
mg	: Milligramme
Mg	: Le magnésium
mg/L	: Milligramme par litre
Mn	: Le manganèse
N – NTK	: Azote total
N mg/l	: Teneur en azote total exprimée en milligramme par litre
N ₂	: L'azote
NaCl	: Le chlorure de sodium
Ni	: Le nickel
NM ³	: Normal Mètre Cube
NO _x	: Les oxydes d'azote
O.M.S	: Organisation Mondiale de la Santé
O ₂	: L'oxygène
Pb	: Le plomb
pH	: Le potentiel d'hydrogène

ppb	: Partie Par Milliard = 10^{-9}
ppm	: Partie Par Million = 10^{-6}
ppt	: Partie Par Trillion = 10^{-12}
SO ₂	: Le dioxyde de soufre
T	: Température
UAN	: Urée Ammonium Nitrate
Zn	: Le zinc
Re	: Nombre de Reynolds

Liste des sigles

g	: Accélération de pesanteur
Cd	: La fraction massique
ηT	: La viscosité turbulente
σT	: Nombre turbulent de Schmidt
C_D	: Coefficient caractéristique de la turbulence
$C_{\varepsilon 1}$: Coefficient caractéristique de la turbulence
$C_{\varepsilon 2}$: Coefficient caractéristique de la turbulence
K_T	: Coefficient de diffusion thermique
K_p	: Coefficient de diffusion de pression
c	: Coefficient d'échange par convection
k	: Energie cinétique turbulente
L	: Longueur caractéristique de la surface
P	: Pression
q	: Flux de chaleur
S	: Surface
S_ϕ	: Terme source
T	: Température
t	: Temps
$u, v \text{ et } w$: Composantes de vitesses
V	: Volume
$x, y \text{ et } z$: Coordonnées
ε	: Taux de dissipation de la turbulence
ϕ	: Variable dépendante
β	: Coefficient de dilatation du fluide à pression constante
μ	: Viscosité dynamique
ν	: Viscosité cinématique

ν_t	: Viscosité cinématique turbulente
ρ	: Masse volumique de l'air
ϕ	: Variable dépendante
Γ	: Coefficient de diffusion
λ	: Conductivité thermique
σ_k	: Coefficient caractéristique de la turbulence
δ_{ij}	: symbole de Kronecker
e	: Energie interne
h	: Enthalpie totale
s	: Entropie
L	: Longueur caractérise l'écoulement
l_m	: Longueur de mélange

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux polluants et leurs effets	18
Tableau I.2 : Méthodes d'analyses utilisées dans la caractérisation de la pollution des rejets liquides.	20
Tableau I.3 : Normes algériennes pour les rejets d'effluents liquides industrielles Décret n° 93-160 du 10/07/93	26
Tableau II.1 : Composition chimique de l'atmosphère	32
Tableau II.2 : Classification des polluants atmosphériques	35
Tableau IV.1 : Nombre d'éléments choisi pour chacun des quatre maillages	88

Liste des figures

Figure II.1: Structure verticale de l'atmosphère.	31
Figure II.2 : Origines et effets de la pollution atmosphérique.	32
Figure II.3 : Schéma représentant les émissions, transformations et dépôts des polluants	33
Figure II.4 : Les principaux polluants et leurs origines	36
Figure III.1 : Localisation du complexe Fertial-Arzew	48
Figure III.2 : Schéma synoptique des différentes étapes de production des fertilisants azotés à base d'ammoniac	49
Figure III.3 : Courbes limites des variations de la température	51
Figure III.4 : Variations interannuelles du régime du vent	52
Figure III.5 : Schéma synoptique des différentes étapes de production de l'ammoniac	53

Figure III.6 : Schéma synoptique des différentes étapes de production de l'acide nitrique	56
Figure III.7 : Schéma synoptique des différentes étapes de production de production de la solution nitrate	59
Figure III.8 : Schéma synoptique des différentes étapes de production de production de CAN à 27% N	61
Figure IV.1 : Schéma des différentes évacuations de l'entreprise Fertial-Arzew	65
Figure IV.2 : Evolution de la température des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3	67
Figure IV.3 : Evolution du pH des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3	68
Figure IV.4 : Evolution du MES des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3	69
Figure IV.5 : Evolution des deux demandes DCO et DBO5 des différents effluents liquides sortants du canal RL3	71
Figure IV.7 : Evolution du rapport DBO5/DCO des effluents liquides sortants du canal RL3	72
Figure IV.8 : Evolution du rapport MES/DBO5 des effluents liquides sortants du canal RL3	73
Figure IV.9 : Evolution de la concentration d'Huiles et de Graisse en suspension dans les différents effluents liquides sortants des canaux RL1, RL2 et RL3	74
Figure IV.10 : Evolution d'Azote Kjeldahl (NTK) des différents effluents Liquides sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3	75
Figure IV.11 : Evolution du NH_4^+ des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3	76
Figure IV.12 : Emissions annuels des fumées, du CO2 et de la quantité de gaz naturel consommée pendant la période 2007-2013 de la première cheminée de l'unité d'ammoniac	78
Figure IV.13 : Emissions Annuel de NOx pendant la période de 2007-2013 de la première cheminée de l'unité d'ammoniac	78
Figure IV.14 : Emissions du mois de mai 2014 de différent polluants de l'unité d'ammoniac	78
Figure IV.15 : Emissions de NOx pendant le mois de mai 2014 de l'unité d'ammoniac	78
Figure IV.16 : Emissions Annuel de différent polluants pendant la période 2007-2013 de l'unité des utilités	79

Figure IV.17 : Emissions Annuel de NOx pendant la période de 2007-2013 de l'unité des utilités	79
Figure IV.18 : Emissions du mois de mai 2014 de différents polluants de l'unité des utilités	80
Figure IV.19 : Emissions de NOx pendant le mois de mai 2014 de l'unité des utilités	80
Figure IV.20 : Emissions Annuel de différents polluants pendant la période 2007-2013 de l'unité d'acide et de nitrates.	80
Figure IV.21 : Emissions Annuel de NOx pendant la période de 2007-2013 de l'unité d'acide et de nitrates	80
Figure IV.23 : Emissions du mois de mai 2014 de différents polluants de l'unité d'acide et de nitrates	81
Figure IV.24 : Emissions de NOx pendant le mois de mai 2014 de l'unité d'acide et de nitrates.	81
Figure IV.25 : Schéma représentant coupe longitudinale des 2/3 d'un clarificateur circulaire.	83
Figure IV.26 : Représentation du schéma de la géométrie axisymétrique ainsi que son maillage en triangulaire.	84
Figure IV.27 : Lignes de courant et concentration de la phase solide au cours de la décantation.	85
Figure IV.28 : Représentation cartésienne du domaine d'étude	86
Figure IV.29 : Géométrie globale et dimensions et maillage du domaine de calcul, la flèche montre la position de la cheminée coudée dans le domaine de calcul.	87
Figure IV.30 : Schéma détaillant les conditions aux limites de fonctionnement de notre système numérique	88
Figure IV.31 : Courbes de convergence des calculs pour les quatre maillages choisis	89
Figure IV.32 : Contours de concentration de CO2 pour un angle d'incidence de 90°	90
Figure IV.33 : Contours de concentration de CO2 pour un angle d'incidence de 105°	90
Figure IV.34 : Contours de concentration de CO2 pour un angle d'incidence de 120°	91
Figure IV.35 : Représentation des Iso-concentration relative du polluant NOx suivant des plans parallèles perpendiculaires à la direction	91

de propagation des effluents suivant (Y-Z)

Figure IV.36 : Profil de la fraction de concentration de CO ₂ dispersés suivant la direction X	92
Figure IV.37 : Profil de la fraction de concentration de NO _x dispersés suivant la direction X	92
Figure IV.38 : Dispersion de CO ₂ à différents distances X.	92
Figure IV.39 : Dispersion de NO _x à différents distances X.	92
Figure IV.40 : Profil de température du fumé polluant selon la direction X	93
Figure IV.41: Contours de température du fumé polluant selon la direction	93
Figure IV.42 : Profil de la vitesse de la fumée pour différentes vitesses de sortie	94

Introduction Générale

Notre vie moderne impose des exigences de plus en plus importantes sur la façon et la manière de se nourrir, de s'habiller de gérer le temps et l'espace en trouvant chaque jour des moyens et des méthodes de plus en plus sophistiquées pour atteindre le confort maximum. Toute l'activité économique provoquée par les besoins humains de toute la planète, engendre en plus du développement technologique et des conditions de vie de l'homme, des problèmes de pollutions accompagnent la plus part des processus industriels et agricoles dont les conséquences environnementales et écologiques sont très graves et qui peuvent tout simplement dans certaines situations se retournent contre les objectifs fixés initialement par ces entreprises. La prise de conscience de la fragilité et la gravité de la situation écologique et environnementale de la planète terre remonte aux débuts des années 80, où les organisateurs de la conférence de Stockholm, ont sonné l'alarme se la dégradation de l'environnement terrestre provoqué par les activités industrielles intenses surtout de certains pays développés et l'inscrire dans les préoccupations des nations unies. Puis plusieurs autres rencontres internationales ont été organisées en rassemblant les chefs d'états du monde, les industriels, les associations, les scientifiques dans les différents domaines liés à l'écologie pour débattre et proposer des recommandations à suivre dans la gestion des déchets et des effluents liquides et gazeux qui sont rejetés dans la nature afin de garantir et de préserver l'environnement aérien, marin et souterrain de la planète et protéger ainsi toute la faune et la flore existante sur la terre et indispensables à la survie des générations avenir.

Pour ne citer que les plus importante des rencontres internationales sur l'environnement et l'écologie, on cite le protocole de Kyoto qui s'est déroulé en à la fin de l'année 1997 où une série de recommandations ont été élaborées pour obliger les pays les plus industrialiser à réduire les gaz à effets de serre. La lourdeur et les réticences de certains pays surtout les plus pollueurs n'ont pas facilité la tâche ce qui ont retardé à l'aboutissement aux résultats escomptés même aggraver l'état écologique globale de la planète. L'inertie enregistrée chez les pays industrialisés à intégrer et ratifier les politiques élaborées par les spécialistes a poussé l'organisation de plusieurs autre conférences sur l'environnement comme

l'accord de Copenhague COP15 2009, les accords de Durban en 2011, la COP20 de Lima en 2014 puis plus récemment la COP21 qui s'est déroulée à Paris en 2015. Toutes ces rencontres d'envergure mondiale ont pour objectifs de rappeler et de hausser le ton sur les risques et les dangers de plus en plus sérieux et visibles sur la planète comme la fonte des glaciers du pôle nord et du pôle sud, la disparition de certaines espèces végétales et animales, les catastrophes naturelles de plus en plus violentes et fréquentes menaçant ainsi l'existence de la race humaine.

L'Algérie est aussi concernée par la pollution d'une manière générale, la côte algérienne est relativement polluée comme il a été indiqué dans plusieurs travaux de recherche que les rejets industriels non traités directement déversés dans la mer méditerranée sont les premières causes (**Grimes et Bakalem 1993; Grimes et Boudjakdji 1996; Boutiba et al. 2003; Grimes 2010**). Ils montrent également, qu'une pollution croissante dans l'ensemble du littoral algérien, en particulier dans les zones côtières des grandes villes. Il est à rappeler que l'Algérie s'est inscrite dans les protocoles de protection de l'environnement et a ratifié le protocole de Kyoto en 2005 et veille au respect des recommandations environnementales obligeant le contrôle des déchets et des effluents produits par l'ensemble des tissus industriel et agricole.

Notre travail de thèse fait partie de la volonté globale visant à maîtriser nos déchets industriels tout en s'inscrivant dans la politique écologique mondiale. On s'intéresse tout particulièrement à l'impact écologique de l'entreprise Fertial-Arzew qui produit des produits fertilisants pour l'agriculture. Le fonctionnement de cette dernière engendre d'importantes quantités de déchets dégagés vers le milieu naturel sous forme d'effluents liquides et gazeux. On sait que le devenir de ces déchets et de ses dérivés varient selon les phases du cycle de vie d'un produit qui est fonction des matières premières utilisées, de la conception du produit et de la technologie appliquée lors de sa fabrication (**Weidenhaupt et Meier, 2000**). Ainsi, une évaluation environnementale aussi bien quantitative que qualitative est impérative et nécessite, une identification des causes de cette dégradation, puis l'établissement d'un diagnostic pour cela un suivi permanent doit être envisagé pour prévoir toute défaillance écologique pour préconiser rapidement les remèdes appropriés. Dans le cas de l'entreprise Fertial-Arzew on a effectué une étude plus ou moins fine sur ses rejets marins et atmosphériques non traités. Les rejets

marins analysés sont évacués via trois collecteurs qu'on a nommé rejets liquides, RL1, RL2 et RL3 et les rejets atmosphériques analysés sont les gaz dégagés par les trois cheminées qu'on a nommé rejets gazeux, RG1, RG2 et RG3. L'investigation réalisée porte principalement sur l'analyse des paramètres physicochimiques et sur les paramètres indicateurs de pollution des différents rejets. L'ensemble du travail réalisé dans cette recherche scientifique est résumé dans ce mémoire de thèse organisé sous forme de quatre chapitres. Les deux premiers chapitres mettent en évidence l'ensemble des paramètres physicochimiques et biologiques fixés par la législation mondiale sur la protection de l'environnement pour la caractérisation expérimentale de l'environnement aquatique et atmosphérique dans lequel évolue l'entreprise Fertial-Arzew. Pour chaque type de pollution, on présente l'état des lieux des modèles mathématiques existants et trouvés dans la littérature afin de réaliser par la suite des simulations numériques avec les outils modernes de la modélisation numérique.

Le troisième chapitre décrit en premier lieu la localisation géographique du site dans lequel évolue l'entreprise Fertial-Arzew tout en mettant l'accent sur la description de la zone d'étude et de ses caractéristiques météorologique et hydrodynamique. Puis on détaille l'essentiel des parties constituantes des processus de fabrication de chacun des produits qui sont l'ammoniac NH_3 , l'acide nitrique HNO_3 et l'acide ammoniacal NH_4^+ ou appelé aussi ammonium.

Le quatrième chapitre récapitule dans une première partie, l'ensemble des résultats expérimentaux issus des mesures effectuées chaque trois jours sur une période de deux mois réalisés sur les effluents liquides et gazeux récupérés directement des canaux d'évacuation des liquides RL1, RL2 et RL3 et des trois cheminées RG1, RG2 et RG3 pour les dégagement de gaz. Dans une seconde partie, on tente d'apporter des solutions et répondre aux problèmes de pollutions soulevés lors des mesures expérimentales des paramètres physico-chimiques caractéristiques en exploitant l'outil de simulation numérique. Ces éléments de réponse sont puissants et efficaces et permettront à l'entreprise Fertial-Arzew de fonctionner dans les normes écologiques non polluantes.

A la fin de ce mémoire on termine par une conclusion générale qui résume les principaux résultats et quelques perspectives visant à améliorer d'avantage la situation de l'entreprise.

Chapitre I

Paramètres caractéristiques et modèle mathématique de la dispersion de la pollution maritime

Résumé

L'évaluation environnementale des effluents industriels générés par le complexe de fabrique d'engrais minéraux, Fertial (ARZEW) constitue l'objectif principal de cette étude. Ce complexe déverse dans le littoral marin ses effluents liquides chargés en polluants organiques et minéraux sans traitement adéquat. Ce chapitre présente les différents types de polluants maritime et leurs paramètres physiques, chimiques et biologiques qui les caractérisent et les méthodes d'étude de chaque polluant. Une estimation et un suivi permanent du degré de pollution engendrée par cette industrie sont impératifs conformément à la législation nationale (et internationale) relative à la protection de l'environnement. Ce suivi permettrait d'établir un outil de réflexion et d'aide à la décision élaboré par un système de management capable d'assurer une gestion efficace et durable des effluents issus des activités industrielles de Fertial.

La pollution est un problème qui touche tous les pays du monde. Les effets de la pollution sur les écosystèmes marins, atmosphériques et sur la santé humaine peuvent parfois se faire sentir de très loin de la source de pollution.

Le terme pollution est reconnu par l'ensemble de la communauté scientifique nationale et internationale comme étant l'introduction de substances ou d'énergie directement ou indirectement, dans le milieu marin et/ou atmosphérique occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources naturel, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes. **(Gesamp,1989)**

La pollution engendrée par le déversement des eaux usées est l'une des formes de pollution les plus répandues et les plus dommageables pour l'ensemble des écosystèmes marins côtiers de la planète **(Espinosa et al., 2007)**. Lorsqu'elles ne sont pas traitées convenablement, les eaux usées transportent avec elles des quantités excessives de nutriments, des bactéries pathogènes et de matière en suspension **(Siung-chang, 1997)**. Le plus souvent, ces eaux sont rejetées près des côtes en zone infralittorale et affecte la faune marine. **(Espinosa et al., 2007)**. **(Benguedda, 1993)** a mis en évidence dans la partie occidentale du golf d'Arzew les niveaux de contamination métallique chez de nombreux organismes marins. **(Taghezout Fatima, 2015)** a étudié l'impact environnemental des Rejets d'eau sur quatre sites différents le long du littoral occidental Algérien.

1 Les différents types de polluants

Le polluant est défini comme pour tout agent physique, chimique ou biologique qui y provoque par sa concentration des perturbations dommageables dans un système. **(RNB, 1999)**

La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique de pollution et les différents types des effluents sont emmêlés et font les uns sur les autres (effets de synergie). Ainsi, un égout rejette des déchets sous forme de pollution chimique, pollution biologique et pollution physique. **(Gravez et Bernard, 2006)**

Le comportement dans l'environnement d'une substance est difficile à appréhender car il dépend de ses propriétés et de la nature du milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, sa capacité à se retrouver dans l'atmosphère dépend à

la fois de son degré de volatilité et de sa solubilité dans l'eau (RNB, 1999). Selon (Mouchel et Thevenot, 2003) on distingue:

1.1 Les macros et les micropolluants

Ce sont des molécules naturelles qui se trouvent dans l'environnement à des concentrations différentes de celles habituellement observées, ce qui entraîne une augmentation de la cinétique des réactions biochimiques. Ces molécules actives minérales ou organiques susceptible d'avoir une action toxique à des concentrations infimes de l'ordre du $\mu\text{g/l}$ ou moins. Les micropolluants contaminent les différents compartiments eau/air/sol puisqu'ils sont directement introduits dans l'écosystème.

Les micropolluants sont dangereux à cause de leurs propriétés intrinsèques, l'intensité et la durée de leur présence dans les eaux (facteurs d'exposition) conditionnent le risque pour les milieux aquatiques et les écosystèmes, ainsi que pour la santé humaine.

Ces micropolluants, font de plus en plus l'objet d'un suivi régulier en raison de leur impact sur le milieu. Cependant, leur détection est difficile, en raison de la multiplicité des substances, la variabilité des contaminations et leur très faible concentration (RNB, 1999).

L'étude de la pollution, nécessite la connaissance d'un certain nombre de paramètres, qu'on appelle paramètres de pollution, ils permettent de juger la gravité d'un problème. On distingue plusieurs paramètres tels que : paramètres chimiques, physiques, etc. (Rodier J., 1996)

1.2 La pollution chimique (acidité, salinité, et couleur)

C'est une pollution dues au déversement dans le milieu aquatique de substances chimiques telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides, les pesticides, les métaux lourds (Pb, Cd, Hg-) (Gis, 1996).

De nombreuses substances de synthèse issues du génie humain ont la capacité d'engendrer des sous-produits (métabolites) encore plus dangereux comme les dioxines. Ainsi, la mer méditerranée est polluée par des substances toxiques, même dans ses régions les plus reculées. (Vincent, 2006)

L'acidité d'une eau est due à sa concentration en ions H^+ . Des variations trop élevées du pH par rapport à une valeur moyenne de 7 constitue une pollution. Il s'agit évidemment d'un paramètre fondamental de caractérisation des eaux résiduaires. La mesure du pH peut s'effectuer par colorimétrie ou par procédé électrométrie à l'électrode de verre. Les sels dissous chargent une eau en cations et en anions dont la nature influe à des degrés différents sur l'environnement en site par exemple :

- **Les chlorures** : L'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture.

- **Les sulfates (SO_4^{2-})** : En plus des importunités qui caractérisent les chlorures les sulfates contribuent au métabolisme des bactéries contenues dans l'eau, ces bactéries sulfato-réduction transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux créant des désagréments à l'environnement.

- **Les nitrates (NO_3^-)** : Les nitrates sont des éléments essentiels dans les procédés utilisés dans l'épuration des eaux. Une forte concentration en nitrates nécessitera des installations de dénitrification quand le milieu ne se prête pas aux trop fortes doses de nitrate.

- **Les autres anions** : Les anions qu'il faudrait signaler au vu de leur grand impact sur l'environnement sont les cyanures (CN), ou leur toxicité n'est pas à démontrer et leur élimination doit être considérée comme une priorité. Ils proviennent essentiellement de rejets industriels et doivent être traités à la sortie de l'industrie considérée.

- **La couleur** : La couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes, de fer ferrique jeté à l'état d'hydroxyde colloïdal, de fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. Il n'existe pas de lien entre la couleur et la concentration en matières organiques.

1.2.1 Les paramètres chimiques environnementaux

Les paramètres appliqués à l'environnement se définissent par toutes opérations d'identification ayant pour but de connaître des données sur l'environnement et ses évolutions. Ils intègrent toutes les opérations nécessaires à la caractérisation d'un milieu.

1.2.2 Demande chimique en oxygène (DCO) – Oxydabilité

La demande chimique en oxygène (DCO) est un paramètre qui donne une indication sur les quantités de substances chimiquement oxydables présentes dans l'eau. Il s'agit là de la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder principalement les composés organiques. Les substances qui se trouvent dans l'eau sont traitées chimiquement dans des conditions d'oxydation très sévères, de façon à estimer aussi celles qui sont difficilement dégradables biologiquement, comme les composés organiques chlorés.

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en milieu acide sulfurique porté à l'ébullition pendant deux heures en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs. Les ions Hg^+ permettent de complexer les ions chlorures sans l'utilisation duquel ces composés minéraux sont de nature à perturber le résultat des mesures. Dans ces conditions 95% à 97% des composés organiques sont oxydés.

Plus il y a de substances oxydables dans un échantillon d'eau, plus on utilise des dichromates. A partir de la quantité de dichromate utilisée, on calcule la quantité équivalente en oxygène qui en théorie aurait réalisé la même oxydation.

1.2.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)

Un autre paramètre important est la demande biochimique en oxygène (DBO), qui exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Il s'agit d'un paramètre mesurant une oxydation biologique des matières organiques qui fait intervenir des réactions enzymatiques.

Les transformations biochimiques des matières organiques s'effectuent en deux stades le premier stade se rapporte aux composés carbonés; il débute

immédiatement pour s'achever au bout de vingt jours environ (à 20°C); et le second stade se rapporte aux composés azotés; il ne commence pas avant six à dix jours et se poursuit au-delà du vingtième jour, alors on considère qu'une durée de 21 jours au moins est nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables;

La demande biochimique en oxygène se poursuit donc pendant un temps assez long et, en outre, elle présente des variations selon la température. Pour la plupart des effluents industriels, la DBO est donnée par la DBO_{21} .

Conventionnellement, on détermine la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5), qui ne mesure que l'effet des transformations biochimiques relatives à la plus grande partie des composés carbonés et ne prend pas en compte la nitrification ou on l'exprime en mg/L d'oxygène consommé. La détermination de la DBO_5 exige une dilution de l'échantillon à étudier avec une eau comportant un ensemencement en micro-organismes et préalablement saturée en oxygène dissous. Cette mesure se fait au laboratoire en déterminant la différence entre la quantité d'oxygène dissous dans une quantité connue d'eau polluée, et la quantité d'oxygène présent dans un échantillon analogue conservé en tube fermé, à 20°C et à l'obscurité pendant cinq jours. Plus la DBO_5 est élevée et plus l'eau est polluée. Quand toute la matière organique est biodégradable, on doit avoir $DCO > DBO_5$. (**D. Zerouali. 2000**)

1.2.4 Les huiles et graisses

Les huiles et les graisses de toute nature se retrouvent dans les eaux de rejets sous forme de suspension flottante et agissent de la même manière que les hydrocarbures en provoquant une asphyxie des êtres vivants. Leur élimination est prévue dans les premiers stades de traitement. Les huiles d'origines industrielles de nature différente font l'objet d'attentions particulières lorsque les débits sont importants (industrie pétrochimique)

1.2.5 Les substances eutrophisantes

Les substances eutrophisantes sont des composés chimiques comme l'azote et le phosphore qui stimulent la croissance des plantes et des algues marines. Ces

nutriments sont nécessaires au fonctionnement normal des écosystèmes sains, mais ils sont dangereux à concentration élevée. Les nitrates et les phosphates proviennent des déjections animales et humaines, les résidus végétaux, des dépôts atmosphériques et du lessivage d'engrais épandus sur des terrains résidentiels et agricoles. **(Berg et al., 2009)**

En excès, les éléments nutritifs vont contribuer à l'augmentation des plantes aquatiques, des algues et une diminution de l'oxygène dissous. **(Berg et al., 2009)**. Bien que ces derniers constituent la base du réseau alimentaire des écosystèmes aquatiques, leur prolifération va à l'encontre de l'équilibre naturel entre producteurs et consommateurs, et engendre d'autres problèmes comme l'eutrophisation. **(berg et al., 2009)** Le terme eutrophisation désigne le déséquilibre d'un écosystème aquatique (mer, eau douce) dû à un excès de nutriments provenant des activités humaines.

Les nitrates en eux-mêmes semblent peu toxiques vis-à-vis de la faune aquatique. L'azote des nitrates avec dans une moindre mesure, celui des nitrites et de l'ammoniaque, est l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux, dans lesquels il est métabolisé pour fournir essentiellement des protéines, des acides nucléiques et les polymères des parois cellulaires. Les nitrates constituent un facteur d'eutrophisation mais, pratiquement, on estime qu'ils n'induisent pas de développement d'algues gênantes en dessous d'une teneur de 2 à 5 mg/l dans le milieu récepteur.

Les nitrites peuvent être présents dans l'eau sous forme ionisée ou non. La première forme, qui apparaît dans certaines conditions de température et de pH, est la plus toxique pour les organismes vivants.

Dans le milieu naturel, sa toxicité se manifeste à faible dose. L'azote ammoniacal se trouve dans les eaux sous forme ionisée (NH_4^+), peu néfaste vis-à-vis de la faune aquatique, ou sous forme hydratée (NH_3) qui entraîne de graves conséquences sur les milieux récepteurs du fait de sa toxicité. L'ammoniaque provoque, même à de faibles concentrations, des lésions branchiales qui limitent les échanges entre le sang et le milieu extérieur. Dans la plupart des eaux superficielles, dont le pH est compris entre 6,5 et 8,5, la plus grande partie de l'azote ammoniacal se trouve sous forme ionisée, donc peu toxique.

A ce titre, outre la réduction du taux d'oxygène du milieu aquatique la nuit, on rappellera que les principales nuisances liées à l'eutrophisation sont la modification de l'équilibre carbonique et une élévation du pH le jour par accroissement de la photosynthèse, ce qui peut provoquer des phénomènes de toxicité aiguë de l'ammoniac, et une toxicité pour le poisson dans les cas extrêmes, soit par colmatage direct des branchies, soit en raison des sécrétions des algues.

Pour les eaux douces, le phosphore est généralement considéré comme le facteur limitant sur lequel il est possible d'agir efficacement pour combattre l'eutrophisation, tandis que l'azote serait limitant pour l'eutrophisation des eaux marines.

Les eaux résiduaires industrielles peuvent éventuellement comporter des teneurs non négligeables en phosphore, comme, par exemple, dans le cas de certaines industries agro-alimentaires et chimiques. Le phosphore se trouve dans les eaux usées sous forme d'ortho-phosphates solubles (PO_4H_2^-), ou de poly-phosphates, qui ont tendance à s'hydrolyser en ortho-phosphates; le phosphore non dissous, lié à des molécules organiques ou contenu dans les matières en suspension.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total (PT). Les ortho-phosphates, les poly-phosphates et le phosphore total peuvent être déterminés indépendamment par spectrométrie. En particulier, le phosphore total est dosable après minéralisation en ballon de Kjeldahl en présence de persulfate ou à l'acide perchlorique.

1.2.6 Carbone organique total (COT)

Un échantillon d'eaux résiduaires est susceptible de contenir en proportions variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatiles (carbone organique purgeable), et du carbone minéral dissous (carbonates, dioxyde de carbone), voire particulaire (charbon actif).

Dans de nombreuses branches industrielles, le COT peut être corrélé de manière satisfaisante avec la DCO. Toutefois, compte tenu des différences fondamentales qui se rapportent aux deux types de mesures (d'une part, une mesure directe du carbone organique total et d'autre part, une évaluation globale d'une oxydation

chimique qui s'effectue dans des conditions opératoires bien déterminées), on constate, dès lors qu'on s'intéresse à des substances considérées isolément, que les rapports DCO/COT sont très variables selon les cas.

1.2.7 Les métaux lourds

Les métaux lourds, aussi nommés éléments-traces métalliques, sont présents dans le milieu marin de façon naturelle et certains sont mêmes essentiels au bon fonctionnement de nombreux processus. Cependant, une grandes concentrations de ces métaux, peuvent s'avérer toxiques pour les organismes aquatiques (**DABY, 2006**). Les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribués à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière (**Kaiser, 2001**). Ces polluants s'accumulent principalement dans les sédiments où ils persistent indéfiniment puisqu'ils ne sont pas sujets à la décomposition bactérienne ou à toutes autres formes de dégradation (**Daby, 2006**). (**D'adamo et al., 2008**), dans leurs travaux portant sur la pollution du lagon de Lesina en Italie, rapportent des concentrations de métaux lourds de cent à mille fois plus élevées dans les sédiments que dans l'eau.

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins. Ceux-ci sont capables d'en éliminer une certaine partie via l'excrétion et la métabolisation mais, au-delà d'une certaine quantité, les métaux s'accumulent dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour la santé humaine (**Liehr et al. 2005**). Ceci peut même aller jusqu'au la disparition de certaines espèces intolérantes causant ainsi de profonds bouleversements dans la diversité et la structure des communautés biologiques (**Boening, 1999**). (**Gharsallah, 2002**) constate en étudiant les pollutions de la mer par les rejets de la raffinerie de la SOGEDIA de ANNABA des niveaux non négligeables de contamination métallique.

Dans le milieu marin, les métaux lourds qui ont retenu le plus l'attention des chercheurs en raison de leur toxicité sur les organismes et des risques qu'ils présentent pour la santé humaine sont le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le mercure (Hg), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni), l'aluminium (Al), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As) **(Kaiser, 2001)**.

1.3 La pollution physique (température et matière en suspension MES)

La pollution physique apparaît lorsque le milieu est bouleversé dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir d'un rejet d'eau douce, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie, d'un rejet liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, macro-déchets-), d'une source de radioactivité **(GIS, 1996 ; Gravez et Bernard, 2006)**.

- **La température** : La température revêt un rôle très important et doit être prise en compte lorsqu'on cherche à déterminer l'impact de rejets industriels. Des modifications excessives de la température des milieux récepteurs sont en effet de nature à modifier l'environnement et à perturber la vie piscicole.

La pollution thermique provient quand l'eau chaude produit au cours de certains processus industriels qui l'utilisent pour refroidir leurs installations est rejetée directement à la mer. Alors le milieu récepteur est donc réchauffé. **(Berg et al., 2009)**

Cependant, l'évacuation des effluents à une chaleur non naturel dans l'environnement constituant de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel capable de provoquer de vrais bouleversements, car d'un point de vue écologique, il existe un paramètre incontournable qui est la température du milieu. Or, dans certains industrie, l'augmentation de température peut atteindre 7 à 8°C, ce qui engendre une modification totale des communautés aquatiques et de leurs modes de fonctionnement **(Vincent, 2006)**.

L'augmentation de la température d'une masse d'eau a des effets chimiques, physiques et biologiques. Les réactions biochimiques comme la décomposition des déchets, se produisent plus rapidement, consommant plus d'oxygène dissous. De plus, l'oxygène se dissous moins dans l'eau chaude que dans l'eau fraîche et la

concentration de l'eau en oxygène dissous à des effets importants sur la vie aquatique. **(Berg et al., 2009)**

Quand le taux d'oxygène dissous diminue à cause d'une pollution thermique, les poissons ventilent plus souvent leurs branchies pour s'oxygéner correctement. Cette situation provoque un gros stress chez le poisson car il tente d'obtenir plus d'oxygène à partir d'une concentration plus petite d'oxygène dissous dans l'eau. D'autres changements subtils peuvent apparaître dans les activités et le comportement d'organismes aquatiques dans une eau polluée thermiquement parce que la température a un effet sur les cycles de reproduction, les rythmes digestifs et respiratoires. A des températures plus élevée, les poissons ont besoin d'avantage de nourriture pour garder leur masse corporelle. Ils ont généralement une espérance de vie plus courte et les populations sont plus petites. En cas de pollution thermique forte, les poissons et les autres organismes aquatiques meurent **(Berg et al., 2009)**. **(Khalanski, 1987)** a mis en évidence l'impact des rejets des centrales thermiques sur l'écosystème marin, il a mis en exergue les conséquences écologiques d'une telle chloration se sont traduit vraisemblablement par une mortalité très élevée des bactéries marines et du plancton dans la zone du rejet. Or ces auteurs, qui ont étudié ces polluants ne proposent pas des techniques d'élimination pour remédier a ces problèmes.

- **Matières en suspension (MES) :** D'après **Ivanoff (1972)**, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques. Ces dernières réduisent la transparence de l'eau d'une part, et d'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques. **(Mertes et al., 1993)** Les matières en suspension dans les eaux de mer sont de dimensions très variables. Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 μm et elles sont un indice de pollution. Elles sont transportées au sein de la masse d'eau qu'elle soit douce, marine ou résiduaire. **(Aminot et al, 1983)**

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent

être aussi responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies. **(Rodier, 1997; Berne et Cordonnier, 1991)**

Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, et de ce fait, être une voie de pénétration de toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme **(Sirone et al, 1986)**. Selon leur nature, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune.

Elles peuvent être aussi considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques. **(Lacaze, 1996)** Dans les océans, la concentration en matières en suspension est faible: elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus importantes teneurs en matières en suspension sont aux niveaux des milieux côtiers et estuariens.

Les matières en suspension (M.E.S.), exprimées en milligrammes par litre (mg/L), sont mesurées par pesée après filtration ou centrifugation et séchage. Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante dont la mise en œuvre fait partie intégrante du mode opératoire. La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres.

Les matières en suspension comprennent :

➤ **Les matières décantables** : elles correspondent aux M.E.S. qui se déposent au repos pendant une durée fixée conventionnellement à 2 heures. Les matières décantables, exprimées en cm^3/l , sont mesurées par lecture directe du volume occupé au fond d'un cône de décantation par le décantas; les matières décantables sédimentent dans les zones de frayes et réduisent les possibilités de développement des végétaux et des invertébrés de fond (agissant ainsi sur l'équilibre global de la chaîne alimentaire du système aquatique).

➤ **Les matières colloïdales** : elles représentent la différence entre les M.E.S. et les matières décantables. La taille des particules correspondantes est approximativement comprise entre 10^{-8} et 10^{-2} mm.

Par ailleurs, les matières en suspension sont constituées de matières minérales et organiques, ou volatiles en suspension (M.V.S.); une approche des matières

organiques est donnée par l'essai de calcination, mais ne saurait être très précise dans la mesure où le traitement thermique de l'échantillon testé s'accompagne toujours d'une décomposition simultanée, partielle ou totale, de certains sels minéraux (bicarbonates, chlorures, nitrates, ...).

Le traitement de cet effluent par coagulation/floculation suivi d'une clarification pour retirer les matières colloïdales d'origines organiques ou minérales, présentes dans l'eau est donc indispensable pour préserver le milieu naturel (**Bersillan, 1978**). Les sels métalliques d'hydrolysats d'aluminium ou de fer constituent la grande majorité des coagulants utilisés (**Fessinger et al, 1977**).

- **Résistivité électrique:** La résistivité représente l'inverse de la conductivité électrique, qui donne une évaluation de la teneur en sels dissous des eaux résiduaires.

- **Matières sèches:** Les matières sèches sont mesurées par élimination de l'eau par évaporation et pesée ; elles rendent comptes à la fois des matières en suspension et des matières dissous. La température à laquelle le résidu est séché et la durée de chauffage ont une influence importante sur le résultat de la détermination; en pratique, on distingue le résidu sec à 100-105°C qui résulte de l'évaporation simple de l'eau, mais aussi de l'évaporation, en totalité ou en partie, de l'eau occluse et de l'eau de cristallisation des sels. Des pertes en dioxyde de carbone peuvent résulter de la transformation des bicarbonates en carbonates. En outre, il peut y avoir une perte plus ou moins négligeable de matières organiques;

Les différents polluants circulants dans le milieu marin ont des effets néfastes pour les organismes marins et par conséquent sur la santé humaine. Les effets de ces polluants sont résumés dans le tableau I.1.

1.4 La pollution biologique

Il peut s'agir de pollution par des micro-organismes (bactéries, virus, champignons) provenant des égouts qui peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes. (**Gravez et Bernard, 2006**)

Cette pollution peut résulter du rejet dans les eaux continentales ou littorales d'une grande variété de substances organiques fermentescibles d'origines diverses et se traduit par une forte contamination bactériologique. Cette extension incessante de la pollution microbiologique des eaux continentales et littorales a pour conséquence une recrudescence d'affections pathogènes. **(Vincent, 2006)**

(O Ware et Addison, 1973) ont étudiés la pollution des biocénoses par les composés organochlorés, leurs travaux ont mis en évidence les véritables concentrateurs biologiques, capable de pomper littéralement les traces infimes des contaminants présents dans les eaux. En 1967 des observations faites sur le littoral hollandais de la mer du NORD par **(J. H Koeman, 1967)** démontrent une forte contamination des moules et des poissons de la zone néritique par la dieldrine. **(J.W. Robinson, 1974)** a repris les travaux de **(J.H Koemann, 1967)** sur la pollution de la mer du Nord par la Dieldrine et ses effets sur la biomasse. Les travaux de **(C. Osterberg et al., 1964)** ont porté sur les rejets d'une centrale nucléaire installée à proximité de la rivière Columbia, ces auteurs ont exposé dans le milieu naturel de la côte pacifique, ces chercheurs ont le mérite d'être parmi les premiers à attirer l'attention sur le grave danger, que constitue la bioamplification des produits radioactives le long des chaînes alimentaires. **(Boutira ,1998)** constate une forte pollution bactériologique avec une incidence sur la santé publique.

Dans ce contexte, nous avons réalisé un programme d'échantillonnage dans le but d'évaluer qualitativement et quantitativement du degré de pollution des effluents produits par le complexe FERTIAL-ARZEW durant la période allant de 3 avril au 29 mai 2014.

La société Fertial-Arzew dispose de trois systèmes de rejet des effluents liquides, le premier (RL1) et le deuxième(RL2) égouts pour l'unité d'ammoniac I & II, le troisième (RL3) pour l'unité nitrates et acides. Ces égouts déversent leurs effluents directement sans traitement vers la mer. Les échantillons prélevés aux différents endroits, doivent être représentatifs du milieu à étudier. Il faut éviter les zones dites mortes ou trop voisines des parois.

Tableau I.1 : Principaux polluants et leurs effets (RFEA, 1990)

NATURE	PARAMETRES	SYMB.	EFFETS	ORIGINE
MECANIQUE	Matière en suspension Turbidité	MES	Colmatage du lit de la rivière, des zones de reproduction des poissons (frayères).	Erosion des sols (orages), travaux en rivière, vidanges de retenues
CHIMIQUE & ORGANIQUE	Oxygène dissous	O ₂ dissous	Diminution de la photosynthèse	Rejets domestiques et industriels
	Demande biochimique en oxygène	DBO ₅		
	Demande chimique en oxygène	DCO	Consommation d'oxygène dissous au détriment des poissons	Elevages intensifs
THERMIQUE	Température	T°	Diminution de l'oxygène dissous Perturbe les poissons	Eau de refroidissement des grosses usines
AZOTE	Azote organique	N-org	Perturbe la production d'eau potable	Rejets domestiques et industriels
	Ammoniaque	NH ₄	Toxique pour les poissons	
	Nitrites	NO ₂	Toxique pour les poissons	Elevages intensifs
	Nitrates	NO ₃	Perturbe la production d'eaux potables si fortes concentrations Contribue à l'eutrophisation	excès d'engrais, rejets domestiques
PHOSPHORE	Phosphore total	P	Augmente les risques d'eutrophisation = asphyxie de la rivière par prolifération d'algues	Rejets domestiques essentiellement Elevages et excès d'engrais
	Phosphates	PO ₄		
MICRO-POLLUANTS	Cyanures	CN	Inhibiteur de la vie aquatique	Rejets d'industries : - traiteurs de surfaces - utilisateurs de solvants Divers
	Métaux lourds : cadmium, mercure, chrome, plomb, ...	Cd, Hg, Cr, Pb, ...	Compromettent la fabrication d'eau potable si normes réglementaires dépassées	
	Micropolluants organiques : organo-halogénés (ex : chloroforme)	AOx	Risques d'effets mutagènes et cancérogènes	Rejets diffus. provenant du traitement des cultures, des abords des routes et

	Pesticides (atrazine, lindane)	Equitox		voies de chemin de fer.
	Solvants et divers: phénols, fluor, solvants chlorés	P-OH, F	Risque de toxicité immédiate et/ou de toxicité différée par accumulation dans les chaînes alimentaires	Résultat de l'action du chlore sur les matières organiques
RADIOACTIVITE	Activité globale Analyses spécifiques	Bq	Risques mutagènes et cancérogènes	Rejets des hôpitaux, activités nucléaires
BACTERIOLOGIQUE	Analyses microbiologiques : - Bactéries - Virus	MES	Turbidité Contamination qui nécessite une stérilisation de l'eau potable Limite l'usage de la baignade	Rejets domestiques Elevages intensifs

2 Méthode d'échantillonnage

Nous avons prélevé des échantillons d'eaux usées au niveau des émissaires des différents endroits étudiés. Le plus grand soin doit être donné au maintien des conditions de propreté pendant la collecte et la manipulation des échantillons, dans le but de minimiser toute contamination éventuelle. Le prélèvement s'effectue dans des bouteilles en polyéthylène spécialement conçues à cet effet.

Ces bouteilles en plastique préalablement nettoyées doivent être soigneusement rincées pour éliminer toute trace d'un éventuel détergent. L'échantillon est préservé à froid pour être analysé ultérieurement.

La durée de transport des bouteilles ne doit pas dépasser 30 minutes et les analyses s'effectuent dès l'arrivée au laboratoire sauf pour les huiles et graisses pour lesquels les analyses sont faites 24 h après que les échantillons ne soient adéquatement traités.

Tableau I.2 : Méthodes d'analyses utilisées dans la caractérisation de la pollution des rejets liquides.

Paramètre	Méthode	Référence
MES	Filtration-Pesage	AFNOR, 1979
N-Kjeldahl (NTK)	Distillation	Rodier, 2009
NH_4^+	Distillation	Rodier, 2009
Huiles et Graisses	Extraction-Pesage	Rodier, 2009

Les différents paramètres entrant dans la caractérisation de la pollution liquide générée par le complexe FERTIAL sont analysés avec des méthodes normalisées et habituellement adoptées par ce complexe. Le type de méthode, l'appareil utilisé ainsi que la référence de la méthode sont résumés dans le Tableau I.2.

3 Mesure des paramètres physico-chimiques (modes opératoires)

Les analyses des paramètres physico-chimiques et des paramètres indicateurs de pollution sont effectuées au niveau du laboratoire de FERTIAL-ARZEW.

- **Le pH** : Il est utilisé pour exprimer le degré d'ionisation de l'eau. C'est la mesure de la concentration en ions hydronium (H_3O^+) provenant de la dissociation des molécules d'eau en protons H^+ . Il contrôle les vies aquatiques et régule le processus d'épuration dans les plans d'eau. Le pH dans l'eau naturelle varie entre 6,6 et 7,8. On a mesuré le pH à l'aide d'un pH mètre de marque **Endress Hauser ASP**.

- **La température** : La température de l'eau est fonction de la température ambiante, des processus chimiques et biochimiques qui ont lieu dans le milieu aquatique, de la température des affluents au cours d'eau. Elle influence beaucoup de phénomènes physico-chimiques tels que le pouvoir auto-épuration d'une eau polluée, la solubilité des gaz, la conductivité et le pH.

La prise de la température des échantillons est effectuée in situ par l'utilisation d'un thermomètre digital de type (**WIKAI PT100**). Nous avons plongé le thermomètre dans les flacons, après la lecture de la température, nous avons enregistré les valeurs de la température dans la fiche d'échantillonnage.

- **Les matières en suspension** : Ce sont des substances minérales ou organiques insolubles d'origines diverses. Suivant leur densité et les caractéristiques du milieu récepteur, elles évaluent la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentée. Elles sont exprimées en mg/l.

- **La Demande Chimique en Oxygène** : C'est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables par voie chimique dans les conditions opératoires définies (**Bontoux, 1993**). En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale (chlorure, sulfure, fer ferreux, nitrite et ammoniac). La DCO est fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation.

- **La Demande Biochimique en Oxygène** : C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau usée. Par convention, la DBO est la valeur obtenue après 5 jours d'incubation (DBO₅). L'essai normalisé prévoit un ensemencement microbien à l'aide d'eau usée domestique, d'une eau de rivière ou d'un effluent de station et une incubation à 20°C. Dans le cas des eaux usées industrielles, l'ensemencement microbien, la durée d'incubation, la toxicité et la nitrification sont des facteurs pouvant influencer la DBO et doivent par conséquent être particulièrement pris en considération (**Eckenfelder, 1982**). La DBO est le meilleur indicateur de pollution organique et peut beaucoup varier au cours de la journée.

La procédure d'évaluation repose sur le contrôle du degré de pollution des rejets liquides. Les échantillons pris en subit plusieurs analyses à fréquence quotidienne ou alternée, une ou deux fois par semaine. Ce prélèvement est l'ensemble de petits échantillons d'un volume de 200 ml toutes les 30 min pendant 24h; ce dernier peut être considéré comme un échantillon représentatif de notre prélèvement. Ces analyses ont porté sur la température, le pH, les MES, l'azote total et l'ammonium NH_4^+ , les huiles et les graisses. La collecte d'eau se fait à une immersion égale au tiers de la profondeur totale du rejet conformément à la norme ISO-5667-10 (1979) relative à l'échantillonnage des eaux résiduaires.

4 Modèle mathématique

Pour contribuer à réduire la pollution issue du complexe Fertial-arzew, on propose un modèle mathématique de la turbulence k-ε pour suivre la vitesse de mélange, la pression et les fractions de phase du volume. Le modèle de mélange est un modèle d'écoulement multi phase, particulièrement bien adapté pour des suspensions, soit des mélanges de particules solides ou liquide. Basé sur la conservation de la masse et de la quantité de mouvement de chaque phase, le modèle de mélange utilise les équations suivantes:

$$\rho u_t + \rho u \cdot \nabla u = -\nabla p - \nabla \cdot (\rho c_d (1 - c_d) u_{slip}^2) + \nabla \cdot \tau_{Gm} + \rho g \quad (I.1)$$

$$\rho_c - \rho_d \nabla \cdot \phi_d (1 - c_d) u_{slip} - D_{md} \nabla \phi_d + \rho_c \nabla \cdot u = 0 \quad (I.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \phi_d \rho_d + \nabla \cdot \phi_d \rho_d u_d = 0 \quad (I.3)$$

Ou, u représente la vitesse du mélange (m/s), ρ la densité de mélange (kg/m³), p la pression (Pa), C_d la fraction massique de la phase solide (kg/kg). En outre, u_{slip} est la vitesse relative entre les deux phases (m/s), τ_{Gm} est la somme des contraintes visqueuse et turbulente (kg/(m·s²)), et g la gravité (m/s²). La vitesse de mélange (m/s) est définie comme étant

$$u = \frac{\phi_c \rho_c u_c + \phi_d \rho_d u_d}{\rho} \quad (I.4)$$

où ϕ_c et ϕ_d représentent respectivement les fractions volumiques de la phase liquide (phase continue) et la phase solide (phase discontinue) (m³/m³), u_c la vitesse de la phase liquide (m/s), u_d la vitesse de la phase solide (m/s), ρ_c la densité en phase liquide (kg/m³), ρ_d la densité en phase solide (kg/m³), et ρ la masse volumique de mélange (kg/m³). La relation entre les vitesses des deux phases est définie par

$$u_{cd} = u_d - u_c = u_{slip} - \frac{D_{md}}{1 - c_d} \nabla \phi_d \quad (I.5)$$

Pour la vitesse de glissement des particules solides, nous pouvons utiliser la loi de traînée de Hadamard-Rybczynski. Dans le mode d'application du mélange le

modèle de la vitesse de glissement de Hadamard-Rybczynski est disponible comme étant un modèle prédéfini. Le mode d'application calcule ensuite la vitesse de glissement comme suite :

$$u_{slip} = - \frac{\rho - \rho_d}{18\rho\eta} \frac{d_d^2}{2} g \quad (I.6)$$

Où d_d désigne le diamètre des particules solides (m). Pour la densité du mélange et de la viscosité, nous utilisons les expressions suivantes

$$\eta = \eta_c \left(1 - \frac{\phi_d}{\phi_{max}} \right)^{-2.5\phi_{max}} \quad (I.7)$$

$$\rho = \phi_c \rho_c + \phi_d \rho_d \quad (I.8)$$

Pour déterminer la viscosité turbulente, en utilise le modèle de turbulence k-ε. Le mode d'application calcule ensuite le coefficient de dispersion de particules D_{md} (m²/s) à partir de

$$D_{md} = \frac{\eta_T}{\rho \sigma_T} \quad (I.9)$$

où η_T est la viscosité turbulente (Pa.s) et est le σ_T (sans dimension) Nombre turbulent de Schmidt,

Le flux de masse de la phase solide à travers l'entrée est donné par

$$M_{in} = \int_{inlet} |v_{in}| \rho_d dS \quad (I.10)$$

De façon correspondante pour l'écoulement à travers la sortie périphérique

$$M_{out} = \int_{outlet} |v_{out}| \rho_d dS \quad (I.11)$$

La différence entre les deux dernières entités permet d'obtenir la masse restante au fond du clarificateur.

5 Réglementation mondiale et national pour la protection de l'environnement

L'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) fixe des directives pour une protection à long terme. Les valeurs recommandées par l'O.M.S. sont fondées sur

des critères strictement sanitaires, les critères économiques ne sont donc pas pris en compte dans l'établissement de recommandations. Les normes sont fixées par des seuils à courte, moyenne et longue échéance. Dans l'état actuel des connaissances du milieu médical international, ces valeurs conseillées sont données en considérant l'atteinte potentielle des polluants sur la santé humaine. A l'état actuel, les textes législatifs algériens relatifs à l'environnement portent sur la réglementation (JO, 2002) :

- Des activités telles que la chasse, la pêche, la navigation maritime, l'occupation des sols, les industries et les installations classées, le transport.
- Des pollutions et des nuisances diverses : déchets, substances chimiques nocives ou dangereuses, fumées, odeurs, bruits et rayonnements ionisants.

En générale, cette législation touche aux facteurs susceptibles de porter atteinte aux éléments naturels tels que le sol, le sous-sol, les ressources maritimes, la mer, l'air ainsi qu'aux sites naturels et historiques (littoral, forêts, faune et flore, réserves et parcs naturels). (Rouane-Hacene, 2013)

Le texte de base régissant la protection de l'environnement dans son ensemble est constitué par la loi cadre N°83-03 du 5/2/1983. Cette loi énonce une série de principes généraux et de règles générales qui fixent des impératifs de protection de l'environnement. Elle impose d'abord à l'administration le respect de principes généraux sous-tendus par l'exigence d'une prise en compte de la dimension environnemental dans la politique économique en vue d'un développement plus respectueux de l'environnement. Elle pose ensuite une série de règles à portée générale telles que la protection de la nature, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien de l'équilibre biologique et la conservation des ressources naturelles contre toutes sources de dégradation. (Rouane-hacene, 2013)

A partir de la loi N°83-03, les textes législatifs promulgués peuvent être regroupés autour de trois thèmes : la protection des milieux récepteurs; la protection du milieu naturel et la lutte contre les pollutions et les nuisances.

- **Protection des milieux récepteurs** : Malgré son importance pour la préservation de l'environnement, la protection du sol et du sous-sol n'a pas été envisagée dans la loi N°83-03 dans son titre consacré à la protection des milieux récepteurs. Toutefois, un certain nombre de textes relevant de ce domaine ont été

promulgués. Ils concernent le statut foncier et la protection de certaines zones sensibles. Le statut foncier est essentiellement organisé par quatre textes :

- La loi N°**90-25** de la **18/11/1990** portant orientation foncière ;
- La loi N°**90-30** de la **01/12/1990** portant loi domaniale ;
- Le décret exécutif N°**91-454** du **23/11/1991** fixant les modalités d'administration et de gestion des biens du domaine privé et du domaine de l'Etat ;
- Le décret exécutif N°**91-455** du **23/11/1991** relatif à l'inventaire des biens du domaine national.

Quand la protection des sols des zones sensibles, elle porte essentiellement sur la protection des sols contre la déforestation, la désertification et l'empiétement. Les principaux textes régissant cet aspect sont :

- La loi N°**84-12** du **23/06/1984** portant régime général des forêts ;
- L'ordonnance N°**75-43** du **17/06/1975** portant code pastoral ;
- Le décret N°**75-166** du **31/12/1975** portant limites des zones steppiques
- Le décret N°**75-168** du **31/12/1975** portant sur la limitation du cheptel dans les zones steppique ;
- La loi N°**90-29** relative à l'aménagement du territoire et à l'urbanisation visant la protection des sols urbanisés.

- Protection des eaux continentales : les dispositions législatives générales qui régissent les eaux continentales sont contenues dans la loi N°**83-03** relative à la protection de l'environnement -Titre III- protection de l'eau.

- **Code législatif des eaux** : Le principal texte législatif relatif à la protection des eaux continentales est constitué par le décret N°**83-17** du **16/07/1983** portant code des eaux. Ce code définit les objectifs de la politique nationale de l'eau qui sont des objectifs, d'une part de prévention des effets nuisibles de l'eau (inondations, protection des sols contre la submersion, la salinisation, l'érosion), d'autre part de la protection des eaux contre la pollution et de troisième part d'utilisation rationnelle et planifiée de l'eau.

Le code des eaux, tel que modifié par l'ordonnance N°**96-13**, définit également les principes sur lesquels repose la politique nationale de l'eau. La lutte contre la pollution des eaux et la protection des ressources en eau font l'objet du chapitre 2 du Titre III de la loi N°**83-03** et du Titre VI de la loi N° **83-17** portant code de l'eau.

La loi N°**83-03** prévoit la détermination du degré de pollution des eaux superficielles par un inventaire, institue des périmètres de protection et réglemente les déversements. La loi **83-17** précise le régime des périmètres de protection et réglemente les comportements susceptibles de polluer les ressources en eau.

Le décret N°**93-163** du **10/07/1993** porte sur l'institution d'un inventaire des eaux superficielles qui doivent être établi selon les critères physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

- Règlementation des déversements des rejets :

➤ Règlementation relative aux eaux usées domestiques :

Les dispositions relatives aux eaux usées ont été regroupées dans un chapitre du Titre V de la loi 83-03 relatif aux « effets nuisibles de l'eau ».

➤ Règlementation des rejets d'effluents liquides industriels :

Trois décrets principaux régissent les rejets d'effluents liquides industriels :

- Le décret exécutif N°**93-163** du **10/07/1993** réglementant les rejets d'effluents liquides industriels. En vertu de ce décret, les rejets d'effluents liquides industriels sont soumis à autorisation du ministre chargé de l'environnement. Cette autorisation ne peut être acceptée que si les rejets ne dépassent pas des valeurs limites maximales fixées en annexe du décret (Voir le tableau I.3).

Tableau I.3 : Normes algériennes pour les rejets d'effluents liquides industrielles
Décret n° 93-160 du 10/07/93

Paramètres	Unités	Valeurs maximales
T	°C	30°
pH	-	5,5 à 8,5
MES	mg/L	35
DBO ₅	mg/L	40
DCO	mg/L	120

- Le décret exécutif N°93-161 relatif au déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel. Ce décret interdit le déversement, en milieu naturel, par rejets ou après ruissellement ou infiltration, et l'évacuation dans les réseaux d'assainissement équipés de stations de traitement, des huiles et lubrifiants, qu'ils soient neufs ou usagers.

- Le décret N°**87-182** du **18/08/1987** relatif aux PCB qui interdit le déversement de ces huiles dans les réseau d'assainissement ou dans la nature.

- Protection des eaux maritimes : En matière de protection des eaux maritimes, l'Algérie a ratifiée un bon nombre de conventions internationales.

En droit interne, outre le chapitre III du Titre III de la loi **83-03**, relatif à la protection de la mer, les textes les plus importants promulgués sont :

➤ Le décret N°**94-13** du **28/05/1994** fixant les règles générales relatives à la pêche ;

➤ L'ordonnance N°**76-80** du **23/10/1986** portant code maritime et les textes d'application qui le complète ;

➤ Le décret exécutif N°**93-164** qui définit la qualité des eaux de baignade.

- Protection de l'air

Le chapitre I du Titre III de la loi N°**83-03**, relatif à la protection de l'atmosphère établit les principes généraux destinés à supprimer ou réduire les émissions polluantes. Les prescriptions de la loi N°**83-03** relatives a ce sujet, ont fait l'objet de la promulgation du décret N°**93-165** qui réglemente les émissions atmosphériques de fumée, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes notamment industrielles. Ce décret a été complété par le décret N°**73-2000** du **01/04/2000** réglementant la production, l'utilisation, l'importation et l'exportation des substances appauvrissant l'ozone.

Par ailleurs l'arrête du **20/06/1983** (JO N° **39** du **20/09/1983**) porte sur les conditions d'émission de fumées produites par des véhicules automobiles.

- Rejet des déchets

• Le chapitre II du Titre IV de la loi N°**83-03** est consacré aux déchets Les principaux textes exécutifs promulgués à ce sujet sont :

• Le décret N°**88-378** du **15/12/1984** fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets urbains ;

• Le décret N°**88-228** du **05/11/1988** définissant les conditions, procédures et modalités d'immersion des déchets susceptibles de polluer la mer, effectuée par les navires et les aéronefs ;

- Le décret exécutif N°**93-162** du **10/07/1993** fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées ;
- Le décret N°**87-182** du **18/08/1987** relatif aux PCB ; interdisant l'utilisation de transformateurs électriques a bain d'huile d'askarels.
- La loi N°**01-19** du **12/12/2001** relative a la gestion, au contrôle et l'élimination des déchets.

Chapitre II

Paramètres caractéristiques et modèle mathématique de la dispersion de la pollution atmosphérique

Résumé

Dans cette deuxième partie on présente un aperçu sur l'atmosphère ainsi que sur les différents types de polluants et leurs paramètres physico-chimiques qui les caractérisent. On donne aussi un bref aperçu sur les nombreux impacts environnementaux générés. On présente également un modèle mathématique de la pollution atmosphérique qui consiste en un ensemble d'équations différentielles régissant quantitativement les paramètres physique d'un phénomène d'écoulement de fluides comme les phénomènes atmosphériques. Plus particulièrement le modèle mathématique considéré, prend en compte la dispersion des polluants basé principalement sur les lois fondamentales de la physique, de la mécanique des fluides et de transfert thermique.

Un des problèmes que doit affronter actuellement la population mondiale est celui de la pollution de l'air engendrée par les rejets des complexes industriels. Outre son impact indiscutable sur la santé humaine dans les zones urbaines.

On entend par pollution atmosphérique, l'émission dans l'atmosphère de gaz, des fumées ou de particules solides ou liquides tel que le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatiles (COV) qui sont corrosifs, toxiques ou odorantes de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétations, la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites. **(Pierre M. et al, 2000)** Les différentes sources émettent de très nombreux polluants dits primaires car ils sont émis directement dans l'atmosphère. Une fois émis dans l'atmosphère, ils peuvent soit se redéposer ou soit se dégrader chimiquement, in situ, dans l'atmosphère. Les produits de ces réactions sont alors appelés polluants secondaires. Ces deux types de polluants jouent un rôle déterminant par les impacts qu'ils peuvent avoir sur le climat, la santé et les écosystèmes **(Bolduc J-P, 2008)**.

1 Généralité sur l'atmosphère

D'après **(M. Pierre et al, 2000)**, les propriétés atmosphériques jouent un rôle important dans la dispersion d'un polluant. La pollution atmosphérique et ses phénomènes de dispersion ne se produisent que dans la couche inférieure de l'atmosphère, dite couche limite atmosphérique CLA **(Karim Mouaici. 2008)**. Alors il est important donc de connaître, en particulier l'écoulement du vent et la température. Qui particulièrement être influencés principalement par deux mécanismes d'une part, les effets de frottement de l'air sur le sol. Ces effets dépendent des conditions géographiques locales, et d'autre part, les échanges de chaleur entre le sol et l'atmosphère. Ces échanges vont varier avec le cycle diurne, les conditions météorologiques et la nature du sol **(N. Diaf et al, 2003)**.

1.1 Identification des couches atmosphériques

En fonction des gradients de température et de composition de la couche atmosphérique, on peut le découper en quatre zones selon l'altitude et le profil

vertical de la température qui donnent le plus souvent les répartitions des différentes couches comme sont illustré dans la figure II.1.

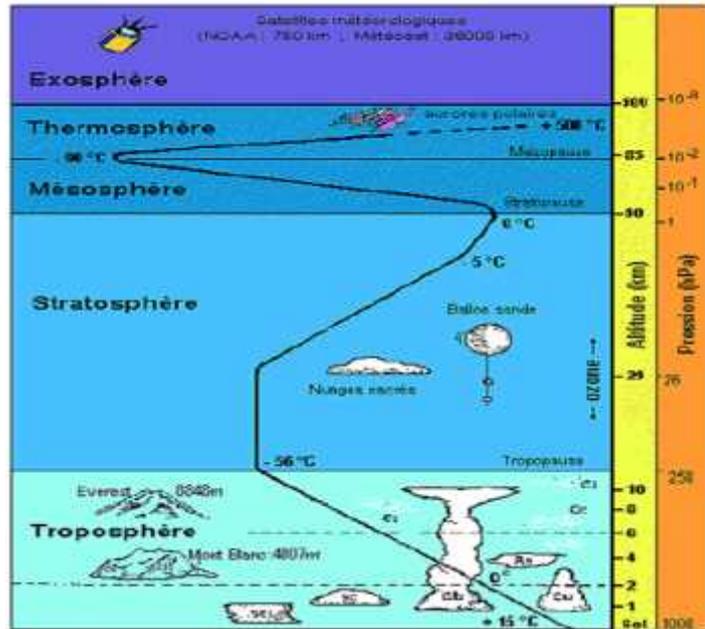


Figure II.1: Structure verticale de l'atmosphère. (Source : Goger, 2006)

La troposphère, La stratosphère, la mésosphère, la thermosphère, sont les couches principales qui composent l'atmosphère. De toutes ces couches, la troposphère est la couche ou les polluants sont généralement émie tout près de la surface terrestre. C'est la couche qui est située juste au-dessus de la surface terrestre et qui s'étend en altitude sur 9 km à 16 km verticalement dépendamment de la latitude et dans laquelle la température décroît avec la hauteur.

1.2 Composition chimique de l'atmosphère

L'atmosphère terrestre est un mélange de différentes espèces chimiques. Les plus abondantes sont l'azote à 78 % et l'oxygène à 21 %. Ces gaz, aussi bien que les gaz rares, ont des durées de vie très longues face aux destructions chimiques. Par conséquent, ils sont bien mélangés dans toute l'atmosphère.

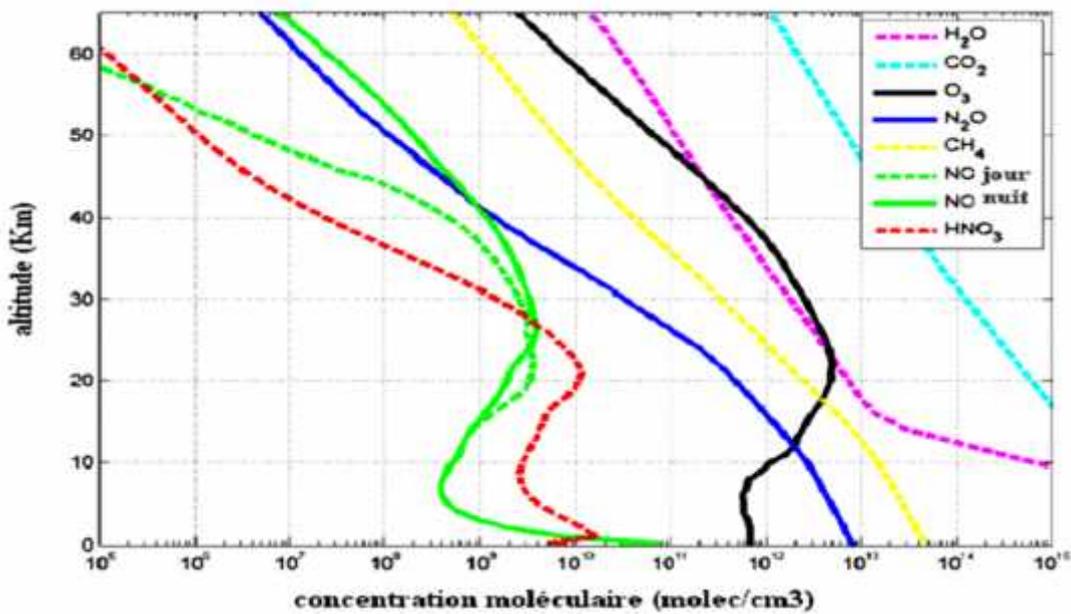


Figure II.2 : Origines et effets de la pollution atmosphérique. (Angélique GUILLOTEAU, 2007).

Les composés minoritaires, tels que la vapeur d'eau, le gaz carbonique, l'ozone, le méthane et les espèces azotées jouent un rôle important en dépit de leurs faibles concentrations. Ils influent sur la transmission des rayonnements solaires échangés (incidents et réfléchis) dans l'atmosphère pour influencer le système climatique de la terre. De plus, ils déterminent la capacité oxydante de l'atmosphère. Outre en contrôlant les durées de vie des espèces biogéniques et anthropiques. La figure II.2 montre la distribution verticale de certain gaz (Vivien Mallet, 2010).

Tableau II.1 : Composition chimique de l'atmosphère (Angélique GUILLOTEAU, 2007).

Constituant	Formule chimique	Rapport volumique
Azote	N ₂	78,084 %
Oxygène	O ₂	20,948 %
Argon	Ar	0,934 %
Dioxyde de carbone	CO ₂	360 ppm
Méthane	CH ₄	1,7 ppm
Hydrogène	H ₂	0,55 ppm
Oxyde nitreux	N ₂ O	0,31 ppm
Monoxyde de carbone	CO	50-200 ppb
Ozone troposphérique	O ₃	10-500 ppb

Ozone stratosphérique	O ₃	0,5-10 ppm
Hydrocarbures non méthaniques	C _x H _y	5-20 ppb
Espèces azotées	NO _x	10 ppt-1 ppb
Ammoniac	NH ₃	10 ppt-1ppm
Radicaux hydroxyles	OH	0,1-10 ppt
Radicaux peroxydes	HO ₂	0,1-10 ppt
Peroxyde d'hydrogène	H ₂ O ₂	0,1 ppb-10 ppb
Formaldéhyde	CH ₂ O	0,1-1 ppb
Dioxyde de soufre	SO ₂	10 ppt-1 ppb
Sulfure de diméthyle	CH ₃ SCH ₃	10 ppt-100 ppt
Disulfure de carbone	CS ₂	1 ppt-300 ppt
Sulfure de carbonyle	OCS	500 ppt
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S	5 ppt-500 ppt
Sulfate particulaire	SO ₄ ²⁻	10 ppt-10 ppb

Le tableau II.1 illustre la composition chimique, les formules, les sources et le rapport volumique de certains polluants dans l'atmosphère

2 Les polluants atmosphériques

La pollution atmosphérique est l'émission dans l'atmosphère des effluents gazeux a compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétations, la production agricole et aux produits agro-alimentaires. **(M. Pierre et al, 2000)**

Les différentes sources émettent de très nombreux polluants dits "primaires" car ils sont émis directement dans l'atmosphère.

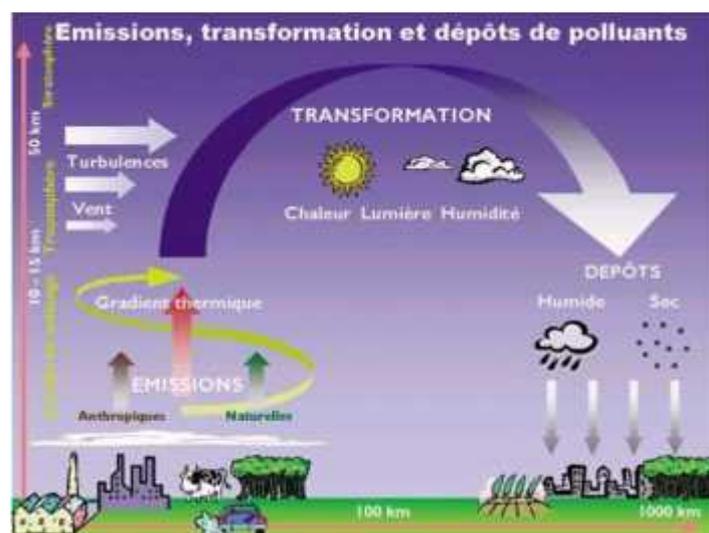


Figure II.3 : Schéma représentant les émissions, transformations et dépôts des polluants (Actu-Environnement, 2011)

Une fois émis peuvent soit se poser ou soit se dégrader chimiquement. Les résultants de ces réactions sont alors appelés polluants « secondaires ». Ces deux types de polluants jouent un rôle déterminant par les impacts qu'ils peuvent avoir sur le climat et la santé humaine. **(Jean-Philippe, 2008)**.

2.1 Sources de pollution

L'atmosphère renferme, à côté des éléments de base, une quantité variable de substances naturelles provenant de sources très diverses tel que les feux des forêts, Les volcans, etc. **(Guilloteau A., 2007)**. Les installations industrielles émettant également des polluants dans l'atmosphère, constituent généralement un problème local à l'échelle d'une zone ou d'un quartier, et planétaire à grande échelle **(Mallet V., 2010)**. Parmi ces installations industrielles, nous pouvons citer les centrales thermiques, les complexes pétrochimiques **(Lacour S., 2004)**. Et aussi on peut citer le trafic des véhicules roulants occupe, une place déterminante.

2.2 Les différentes échelles de la pollution atmosphérique :

On peut sectionner la pollution atmosphérique en trois catégories :

➤ **Pollution de proximité et à l'échelle locale :** Elle concerne les sources d'émission de gaz ou d'autres substances indésirables le plus souvent produites en milieu urbain. Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à avec le temps pour certaines pathologies.

➤ **Pollution à l'échelle régionale :** Elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres) des sources d'émission de pollution. Elle regroupe souvent, sous ce terme, deux phénomènes de pollution : les phénomènes de retombées au sol de dépôts acides, secs et humides, qui touchent des zones étendues et éloignées des sources en raison des transformations physico-chimiques et des conditions climatiques (HCl, H₂SO₄ issus des émissions de SO₂, HNO₃ liées à celles des NO_x).

➤ **Pollution planétaire** : Elle concerne les deux problèmes identifiés le premier est la diminution de trou de la couche d'ozone stratosphérique due essentiellement à l'action des composés halogénés (chlore, brome, iode) libérés par les activités humaines, et à la réduction du pouvoir filtrant a des conséquences néfastes sur la santé (cancers de la peau). Et le second est D'augmentation de l'effet de serre qui constitue un processus naturel à la vie terrestre car sans ce phénomène, la température de l'air serait inférieure à -30°C à la valeur moyenne actuelle qui est de 15 °C sur notre planète. Cependant, son augmentation liée à la production excessive de certains gaz (CO, CO₂, COV) entraînera de graves changements climatiques comme élévation de la température du globe. **(Chevalier A., 2007)**

Tableau II.2 : Classification des polluants atmosphériques

Polluant	Nature	Substance
gaz	Inorganiques	Dérivés oxygénés du soufre (dioxyde et trioxyde de soufre, acide sulfurique, sulfates,...)
		Dérivés oxygénés d'azote (monoxyde et dioxyde d'azote, acides nitreux et nitrique)
		Monoxyde et dioxyde de carbone
		Autres (dérivés du plomb, hydrogène sulfuré, ammoniac, chlore, chlorures, acide fluorhydrique, fluorures,...)
	Organiques	Hydrocarbures (aliphatiques saturés ou non, cyclaniques, aromatiques légers ou polycycliques)
		Aldéhydes et cétones (formaldéhyde, acroléine, acétone)
		Autres (alcools, hydrocarbures chlorés, mercaptans, sulfures,...)
Particules		Particules de matière solide (poussières, fumées)
		Particules de matière liquide (brouillard d'huile ou de goudrons, gouttelettes entraînées,...)

2.3 Les principaux polluants et leurs sources

Les principaux polluants mesurés par les organismes de surveillance de la qualité de l'air sont les suivants : **(Demaël E., 2007)**.

Le dioxyde de soufre (SO₂) : Ce gaz résulte des combustions et il est associé à de nombreuses pathologies respiratoires, souvent en combinaison avec les particules. Il peut entraîner des inflammations et une altération de la fonction respiratoire et les études épidémiologiques montrent également souvent des liens entre

concentration en dioxyde de soufre et particules dans l'air, et hospitalisations pour troubles respiratoires et cardiaques. Le dioxyde de soufre peut se transformer en particules de sulfates dans l'air ambiant et concourt également au phénomène des pluies acides, néfastes pour les écosystèmes aquatiques et terrestres (**Gagné M., 2006**).

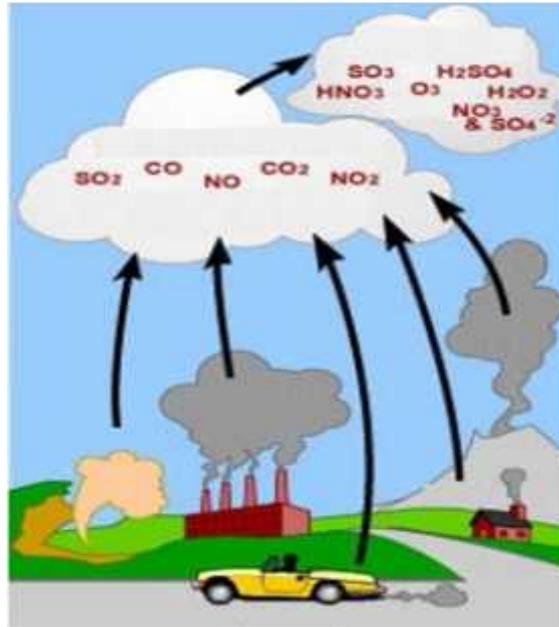


Figure II.3 : *Les principaux polluants et leurs origines (Actu-Environnement, 2011)*

Les oxydes d'azote (NO et NO₂) : Ces polluants sont émis lors des combustions et le dioxyde d'azote est le plus nocif pour la santé humaine. C'est un gaz irritant pour l'appareil respiratoire et il favorise l'hyperréactivité bronchique. Les populations asthmatiques semblent plus sensibles également à ce polluant. (**Ung, Anthony, 2005**)

Les particules : Elles sont émises notamment par les combustions. Elles se forment aussi dans l'air à partir de certains polluants gazeux.

Les particules d'un diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀) sont dites inhalables car elles peuvent atteindre l'appareil pulmonaire. Les particules fines regroupent celles plus petites que 2,5 µm. Les effets dépendent de la composition chimique des particules. Les particules fines sont également impliquées dans la genèse de troubles respiratoires et cardiovasculaires (**Debry E., 2005**).

Les métaux lourds : Ce sont des métaux de densité élevée comme le plomb (Pb), le Mercure (Hg), l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Nickel (Ni), le Mercure (Hg). Dans l'air, ils sont sous forme de particules à l'exception du mercure qui est principalement gazeux. Ils proviennent de la combustion de certains procédés industriels et de l'incinération des déchets. **(Kadem, 2005).**

Les hydrocarbures et les composés organiques volatils (COV) : Ils sont émis par diverses sources (solvants, pétrochimie, automobiles...) et recouvrent de nombreux composés aux effets différents (odeurs, altération de la fonction respiratoire, troubles nerveux). Certains COV comme le formaldéhyde et le benzène sont cancérogènes. Les COV contribuent aussi à la mauvaise combustion du bois (dans des cheminées et foyers ouverts) et pour une plus faible part de la circulation automobile **(Sampic J., 2005).**

Le monoxyde de carbone : Ce gaz est issu des combustions dans les chaudières mal réglées, et de la circulation routière. Il se fixe sur l'hémoglobine et peut entraîner des troubles respiratoires, des effets asphyxiants, des maux de tête, et des troubles cardiaques **(Graïne H., 2009).**

L'ammoniac (NH₃) : Ce gaz est notamment émis par les lisiers d'élevage. Il est malodorant et irritant à forte concentration. Dans l'air, l'ammoniac contribue à la formation de fines particules et de nitrate d'ammonium, et contribue aux phénomènes d'acidification et d'eutrophisation des milieux naturels par dépôt de matière azotée **(Kadem, 2005).**

3 Technique d'échantillonnage de la pollution atmosphérique

L'échantillonnage est souvent pratiqué dans les cheminées et les résultats peuvent être reliés aux conditions de fonctionnement d'une installation ou d'un procédé. La détermination de la concentration d'un polluant dans la fumée exige le prélèvement d'un échantillon parfaitement représentatif qu'on désire étudier, ce simple prélèvement constitue à lui seul un problème très complexe car de nombreux facteurs sont susceptibles de modifier la représentativité.

Dans notre travail le prélèvement d'échantillons est effectué par l'équipe technique du complexe Fertial-Arzew, dans des baudruches à partir des prises d'échantillons

déjà existantes sur des cheminées puis ses derniers sont ramenés au laboratoire pour être analysés par l'analyseur de gaz « PAN 3000 ».

4 Les méthodes de mesures et analyse des principaux polluants gazeux

Il est souvent souhaitable de connaître la concentration en polluants des gaz résiduels, le flux polluants rejeté dans l'atmosphère (masse de polluant rejeté par unité de temps). Dans certains cas le flux polluant peut être déterminé directement par la méthode du bilan. Par exemple la connaissance de la teneur en carbone du combustible et de la quantité de combustible consommé permet de connaître la quantité de CO₂ rejeté dans l'atmosphère.

$$[FP] = M/t \quad (II-1)$$

Flux polluant = unité de masse/unité de temps = $Q(\text{m}^3/\text{h}) * C(\text{mg}/\text{m}^3)$

Le flux polluant c'est le produit de concentration du polluant par le débit de l'effluent (fumée). La mesure de débit est faite en fonction des conditions d'exploitation, elle sera alors estimée en fonction de paramètre connue tel que perte de charge.

- **Calcul des fumées de combustion :** Le produit de combustion de l'oxygène nécessaire à la combustion est ramené par un comburant, Celui-ci peut être de l'air atmosphérique ou de l'air suroxygéné. Pour le calcul relatif à la combustion, nous considérons que la proportion en volume est de 20.8 % d'oxygène et pour le complément en azote soit 79.2 %. Par ailleurs la combustion conduit à la formation de résidus solides et gazeux. Les résidus solides sont constitués de :

- Les cendres que l'on recueille dans les foyers sous forme pulvérulente ou à l'état de mâchefers.
- Le carbone imbrulé
- Les particules fines qui se trouve en suspension dans les fumées et qui constituent les suies.

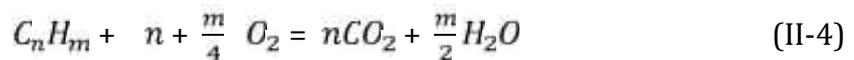
Les résidus gazeux ou fumées comprennent essentiellement l'azote amené par le comburant ainsi que les gaz issus de la combustion du carbone, de l'hydrogène, du soufre. La composition des fumées dépend du combustible brûlé ainsi que du type de combustible réalisée.

- **Teneur en eau des fumées, condensation** : La présence de la vapeur d'eau dans la fumée conditionne leur température de rosée (apparition d'eau condensée). Celle-ci sera d'autant plus basse que la proportion en H₂O sera forte. Sauf dans certains cas particulière (chaudière à gaz à condition). Les fumées sont rejetées à une température supérieure au point de rosée.

- **Calcul des caractéristiques de la combustion des combustibles gazeux** : Ces caractéristiques sont calculées à partir de la combustion en volume du gaz.

- **Pouvoir combustion V_a** : C'est la quantité d'air sec nécessaire à la combustion d'un Kg de combustible solide ou liquide (Nm³ de combustible gazeux). Il s'exprime en poids (P_a) ou en volume (V_a) :

Les équations de combustion sont :



Comme il peut y avoir plusieurs hydrocarbures en présence, le volume d'oxygène nécessaire pour brûlé 1 Nm³ de gaz est :

$$V_{O_2} = \frac{1}{2} \frac{C\%}{100} + \frac{1}{2} \frac{H_2\%}{100} + \sum n + \frac{m}{4} \frac{C_nH_m\%}{100} - \frac{C_2\%}{100} \quad (II-5)$$

La proportion en volume d'oxygène dans l'air étant de 20.8%, on aura

$$V_a = \frac{100}{20.8} V_{O_2} \quad (II-6)$$

D'où le poids de l'air est : P_a = 1.293 V_a kg/Nm³ de gaz

- **Pouvoir fumigènes exprimés sur fumées humides** : On appelle « pouvoir fumigène » le poids ou le volume de fumée dégagé par la combustion neutre d'un kg de combustible solide ou liquide (Nm³ de combustible gazeux). On l'exprime comme suite :

- Sur fumées humides lorsque l'eau est à l'état de vapeur, P_f en kg de fumées humides/Nm³ de combustible gazeux.
- Sur fumées sèches lorsque l'eau présente dans les fumées est condensée. P_f en kg de fumée sèches/Nm³ de combustible gazeux.

V_f de fumée sèche/kg ou fumée sèche/Nm³ de combustible. Le poids ou le volume de fumées sèche intervient dans l'analyse de la fumée.

La conservation de masse permet d'écrire

$$P_f = P_a * \rho_g \quad (\text{II-7})$$

Le volume de fumée humides est la somme des produits de combustion, des inertes et de l'azote du comburant d'où :

$$V_f = V_{fO_2} + V_1 + V_{N_2} \quad (\text{II-8})$$

Où le son calcul s'effectue à partir des équations de combustion précédentes.

$$V_{fO_2} = \frac{CO\%}{100} + \frac{H_2\%}{100} + \sum n \frac{C_nH_m\%}{100} \sum \frac{n}{2} \frac{C_nH_m\%}{100} \quad (\text{II-9})$$

- **Quantification des rejets gazeux** : Les débits des rejets gazeux (fumées contenant du CO₂ et Nox) varie selon la consommation en fuel gaz. Il n'existe pas de valeur design et ce pour différentes unités de production.

Les effluents gazeux sont composés de fumées comportant de la vapeur d'eau et essentiellement du NOx et CO₂. La solution aux problèmes de la pollution atmosphérique repose tout d'abord sur la connaissance de la nature et de la concentration des différents polluants. Savoir mesurer correctement. Sachant que les pollutions à l'émission sont généralement connues et sont présents à des teneurs relativement élevées. Les objectifs est d'établir un inventaire complet des flux élémentaires échangés avec l'environnement, d'évaluer des impacts et des aspects environnementaux liés à chaque phase de production et de chercher les meilleures procédures pour minimiser ces polluants.

FERTIAL dispose de trois systèmes de rejets des effluents gazeux le premier RG1 pour l'unité d'ammoniac (NH₃), le deuxième RG2 est pour l'unité des utilités, le

troisième RG3 pour l'acides et nitrates. Les données utilisées ont été récoltées directement depuis les unités de production ou de la direction de production de l'entreprise «FERTIAL-ARZEW».

5 Définition du Modèle mathématique

Généralement un modèle mathématique de la pollution atmosphérique consiste en un ensemble d'équations différentielles régissant quantitativement un système ou un phénomène donné. Le modèle mathématique considéré, dans le cas de la dispersion des polluants est celui basé sur les lois fondamentales de la physique, de la mécanique des fluides et de transfert thermique en particulier. Souvent, on peut même supposer des hypothèses pour la construction de ces modèles.

5.1 Les paramètre la turbulence

Le nombre de Reynolds d'un écoulement donne une mesure de l'importance relative des forces d'inertie et des forces visqueuses. Il a été observé expérimentalement que pour des conditions aux limites stationnaires, l'écoulement est stationnaire au-dessous d'un nombre de Reynolds appelé Nombre de Reynolds critique (Re_{crit}).

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (II.10)$$

Ou U est la vitesse du polluant, D le diamètre de la source du polluant et ν est la viscosité du gaz polluant

Pour des nombres de Reynolds supérieurs à (Re_{crit}), une série de phénomènes apparaissent et changent radicalement les caractéristiques du fluide (**Chassing, 2000**). Le mouvement des particules de fluides devient instationnaire même lorsque les conditions aux limites sont stationnaires.

Les propriétés du fluide varient alors d'une manière chaotique et aléatoire et le régime d'écoulement est appelé régime d'écoulement turbulent. Devant la grande complexité de la turbulence, on a souvent recours au traitement des problèmes par des méthodes statistiques. Ce recours au traitement statistique est justifié par la décomposition de Reynolds de propriété de l'écoulement $\phi(t)$ (**Chassing, 2000**).

Chaque propriété $\phi(\rho, u, v \text{ et } p)$ de l'écoulement est décomposée en une valeur moyenne ϕ et une valeur fluctuante ϕ' de telle sorte que :

$$\phi(t) = \phi + \phi'(t) \quad (\text{II.11})$$

Pour un écoulement permanent en moyenne, la valeur est égale à la moyenne temporelle prise sur une seule expérience mais sur un temps très long devant les échelles de temps de turbulence (**Versteeg, 1995**).

$$\phi = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta t} \phi(t) dt \quad (\text{II.12})$$

Où ϕ est une variable quelconque en fonction de (vitesse, pression, température...).

L'énergie cinétique turbulente spécifique associée à l'écoulement turbulent est définie comme suit :

$$k = 0.5 \overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \quad (\text{II.13})$$

L'intensité de la turbulence est reliée à l'énergie cinétique turbulente et une vitesse de référence U_{ref} de la manière suivante :

$$T_u = \frac{\sqrt{2k}}{3U_{\text{ref}}} \quad (\text{II.14})$$

5.2 Effet de la turbulence sur les équations instantanées de Navier-Stokes

La simulation directe des équations de Navier-Stokes pour un écoulement turbulent pour des cas pratiques est toujours hors de portée car elle nécessite des moyens de calcul phénoménaux que le développement des ordinateurs actuels ne peut assurer. Cependant, en ingénierie on a besoin uniquement de procédures de calcul qui puissent fournir des informations adéquates concernant les effets prépondérants de la turbulence. Les informations fournies par la connaissance des propriétés moyennes par rapport au temps sont suffisantes. Le code de calcul Ansys CFX permet d'utiliser différents modèles de turbulence, parmi lesquels, on

distingue deux approches différentes. La première repose sur le concept d'équilibre local pour exprimer directement la viscosité turbulente (Eddy Viscosity Turbulence Models) en fonction des paramètres connus et paramètres moyens de l'écoulement. Cette approche est connue sous la dénomination de modèle algébrique de turbulence. Une simplification de ce modèle consiste à négliger le terme de l'énergie cinétique, pour la simple raison que l'énergie cinétique ne peut pas être déterminée avec une grande précision à l'aide de ce modèle. La seconde approche qui a la prétention d'être beaucoup plus générale, consiste à évaluer la viscosité dynamique turbulente μ_t à partir des contraintes de Reynolds (Reynolds Stress Turbulence Models)

5.3 Equations du modèle

Les équations exprimant les phénomènes d'écoulements sont principalement celles de dérivées des lois physiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie et l'équation de conservation du contaminant. Pour plus de détail sur les différentes étapes de constitution de ces équations, il est conseillé de se référer aux travaux de H.K. Versteeg et W. Malalasekera. (**Versteeg, 1995**).

Dans notre étude, on suppose que le milieu est continu et isotrope et pas de source ou de puits de matière de sorte que les équations dont nous disposons sont les suivantes :

5.3.1 Equation de continuité

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho U = 0 \quad (\text{II.15})$$

Où ρ est la masse volumique et U est le vecteur vitesse.

Le régime d'écoulement soit permanent $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ l'équation (II.15) devient

$$\text{div } \rho U = 0 \Rightarrow \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.16})$$

5.3.2 Equations de quantité de mouvement

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide et son mouvement et les causes qui le produisent. On peut indiquer que le taux de variation de quantité de mouvement contenue dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Elle s'écrit sous la forme tensorielle suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \rho \bar{u}_j \bar{u}_i + p \delta_{ij} - \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \rho g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}'_j \bar{u}'_i) = 0 \quad (\text{II.17})$$

Où l'on reconnaît la force d'inertie en suivant le mouvement, la force de Coriolis, le gradient de pression, la force de pesanteur, et au troisième terme le tenseur des contraintes visqueuses qui s'écrit, pour un fluide compressible Newtonien.

Où ρ est la masse volumique; μ est la viscosité dynamique.

L'équation de quantité de mouvement peut s'écrit suivant les trois directions :

Suivant l'axe x :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{u}^2 + p - \mu \left[2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{u}'^2 \\ + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{u} \bar{v} - \mu \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right] + \rho g_x + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{u}' \bar{v}' \\ + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{u} \bar{w} - \mu \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right] + \rho g_x + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{w}' \bar{u}' = 0 \end{aligned} \quad (\text{II.18})$$

Suivant l'axe y :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{u} \bar{v} - \mu \left[\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{u}' \bar{v}' \\ + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{v}^2 + p - \mu \left[2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right] + \rho g_y \\ + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{v}'^2 + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{v} \bar{w} - \mu \left[\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right] + \rho g_y \\ + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{w}' \bar{v}' = 0 \end{aligned} \quad (\text{II.19})$$

Suivant l'axe z :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \rho \overline{uw} - \mu \left(\frac{\partial \overline{w}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \rho u w + \frac{\partial}{\partial y} \rho \overline{vw} - \mu \left(\frac{\partial \overline{w}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v}}{\partial z} \right) \\ + \rho g_z + \frac{\partial}{\partial y} \rho \overline{v w} \\ + \frac{\partial}{\partial z} \rho \overline{w^2} + p - \mu \left(2 \frac{\partial \overline{w}}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w}}{\partial z} \right) + \rho g_z \\ + \frac{\partial}{\partial z} \rho \overline{w'^2} = 0 \end{aligned} \quad (II.20)$$

5.3.3 Conservation d'énergie

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

$$\frac{D}{Dt} \rho c_p T = \lambda T + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \mu \phi \quad (II.21)$$

Avec

- $\frac{D}{Dt} \rho c_p T$: La variation totale d'énergie ;
- λT : la variation d'énergie par conduction ; dans notre cas $\lambda T = 0$
- q : puissance volumique dissipée ;
- $\beta T \frac{Dp}{Dt}$: la variation d'énergie dues à la compressibilité ;
- $\beta T \frac{Dp}{Dt} = 0$ pour un écoulement incompressible ;
- $\mu \phi$: la dissipation irréversible dues aux frottement visqueux.

Les coefficients c_p , λ et β sont respectivement, la capacité calorifique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.

5.3.4 L'équation de conservation du contaminant

Sa forme la plus générale est la suivante :

$$\frac{d \rho c}{dt} + \rho c \bar{U} = \frac{\partial \rho c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho c U_i = - J \quad (II.22)$$

Où c est la quantité transportée, J est le flux massique du contaminant par rapport à des axes entraînés à la vitesse moyenne U du mélange. En excluant des effets tels

que l'attraction électrostatique, ce flux est la conséquence de gradients de concentration, de température, et de pression, au sein du mélange, l'expression générale de flux massique de contaminant est de la forme :

$$J = - \rho c \left(c + \frac{k_T}{T} \nabla T + \frac{k_P}{P} \nabla p \right)$$

En notation tensorielle, l'équation de conservation du contaminant devient :

$$\frac{\partial \rho c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho c U_j = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(- \rho D \left(\frac{c}{x_j} + \frac{k_T}{T} \frac{\nabla T}{x_j} + \frac{k_P}{P} \frac{\nabla P}{x_j} \right) \right) \quad (\text{II.23})$$

Où D est le coefficient d'interdiffusion moléculaire du contaminant dans le fluide de base et K_T et K_P des coefficients caractéristiques de la thermo-diffusion et de la diffusion de pression, que l'on pourra en fait considérer comme négligeables dans les problèmes géophysiques (**Knapp, 2000**).

Chapitre III

Présentation de la zone d'étude

Résumé

Cette partie du travail est nécessaire pour définir et donner un aperçu le plus précis possible sur la zone d'étude géographique et météorologique tout en précisant les différentes unités de production des fertilisants azotés existantes dans le site en question, à savoir les unités de production d'ammoniac, d'acide nitrique et de nitrate d'ammonium.

Les zones côtières sont le lieu d'activités nécessitant des eaux de bonne qualité physico-chimique : usages récréatifs, aquaculture et pêche. Ces zones sont sous l'influence directe des eaux usées, par des rejets urbains et industriels. Ces rejets entraînent des dégradations notables de la qualité des eaux et des écosystèmes marins. (Kerfouf et remili, 2013)

1 Description et localisation de la zone d'étude

L'usine FERTIAL est située à 45 Kms au nord Est de la ville d'Oran, elle s'étend sur une superficie de 60 hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew, implantée en bordure de la mer et distante de 03 Kms au Nord Est de la ville d'Arzew et à 04 Kms au Nord-Ouest de la ville de Béthioua.

Elle est limitrophe du l'usine GNL1 à l'est, du l'usine GPL2 à l'ouest, et de l'Institut Algérien de Pétrole (IAP) au sud. (Figure III.1).



Figure III.1 : Localisation du complexe Fertial-Arzew (image satellite 2014)

La plateforme industrielle utilise comme matière première est le Gaz naturel, pour réaliser ces objectifs le complexe FERTIAL dispose principalement de :

- Deux unités de productions d'ammoniac avec une capacité de production de 1000T/J pour chacune, suivant deux procédés différents CHEMICO et KELLOGG; La majeure partie du produit est destinée à l'exportation, le reste est utilisé comme matière première dans la production de l'acide nitrique, la solution nitrate, et les fertilisants azotés.
- Trois unités de productions d'acide nitrique avec une capacité de production de 400T/J pour chacune, fonctionnant selon le procédé CHEMICO. La majorité du

produit issu de l'unité est réinjecté dans les procédés de production des fertilisants principalement le CAN, le reste est destiné à la commercialisation.

- Trois unités de fabrication de nitrate d'ammonium d'une capacité de 500 T/J pour chacune, fonctionnant selon le procédé CHEMICO; Les principaux produits sont le nitrate d'ammonium liquide, le nitrate d'ammonium solide à 33,5 % et 34,5 %, et le principal produit calcium ammonium nitrate à 27 % d'azote.
- Une unité est spécialisée dans la production d'Urée et de la solution d'UAN (urée ammonium nitrate), ce dernier est obtenu à 28 %, 30 %, et 32 %. La capacité de production de l'unité est de 600 T/j.
- Deux unités de stockage d'ammoniac a -33°C de capacité de 20000 Tonnes pour chacune;
- Deux unités (hangar) de stockage et de conditionnement de nitrate d'ammonium (les engrais) de capacité de 20000 tonnes et 30000 tonnes.

Par son tonnage produit dans le monde, l'ammoniac est l'un des produits chimiques les plus importants, en raison de sa présence en tant que matière première dans la fabrication des fertilisants azotés (urée, sulfate d'ammonium, nitrate d'ammonium), d'acide nitrique et d'autres (Gilbert et Thornley, 2010). L'ammoniac est utilisé dans l'agriculture, la production des fertilisants, l'industrie pétrolière, l'industrie des pâtes et papiers, l'industrie du caoutchouc, l'industrie alimentaire et des boissons. (Corrim, 2001)

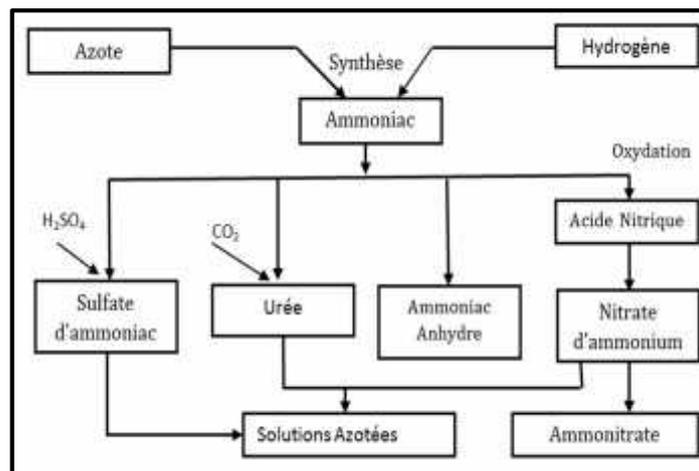


Figure III.2 : Schéma synoptique des différentes étapes de production des fertilisants azotés à base d'ammoniac (UNIFA, 2010 ; IFA, 2011).

Dans ce contexte, la présente étude portant sur le complexe Fertial a pour objectif d'une évaluation environnementale des eaux résiduaires industrielles rejetées dans le littoral marin sans aucun traitement préalable et non-respect des normes algériennes pour la qualité des rejets industriels. Pour cela il est impératif d'effectuer des analyses physicochimiques sur les effluents liquides rejetés par l'unité. Cette étude est axée sur une identification et quantification des polluants présents dans les eaux en aval des procédés de fabrication des engrais. Ceci est réalisé par analyse de différents paramètres et/ou composés susceptibles d'engendrer une pollution; en outre les résultats d'analyse sont comparés aux critères et normes de déversement industriel préconisés par la législation nationale en vigueur.

Les effluents gazeux sont composés de fumées comportant de la vapeur d'eau et essentiellement du NO_x et CO₂. La solution aux problèmes de la pollution atmosphérique repose tout d'abord sur la connaissance de la nature et de la concentration des différents polluants. Savoir mesurer correctement. Sachant que les pollutions à l'émission sont généralement connues et sont présents à des teneurs relativement élevées. Les objectifs est d'établir un inventaire complet des flux élémentaires échangés avec l'environnement, d'évaluer des impacts et des aspects environnementaux liés à chaque phase de production et de chercher les meilleures procédures pour minimiser ces polluants.

2 Les paramètres météorologiques

- **Température** : La région d'Arzew est caractérisée par un climat modéré. Généralement, la température minimale de l'air ne s'abaisse pas au-dessous de 0 °C et la maximale ne dépasse pas 40 °C (Figure III.3). La moyenne annuelle de température est de 18.5 °C, avec des moyennes mensuelles extrêmes de 28,8°C en mois d'Août.

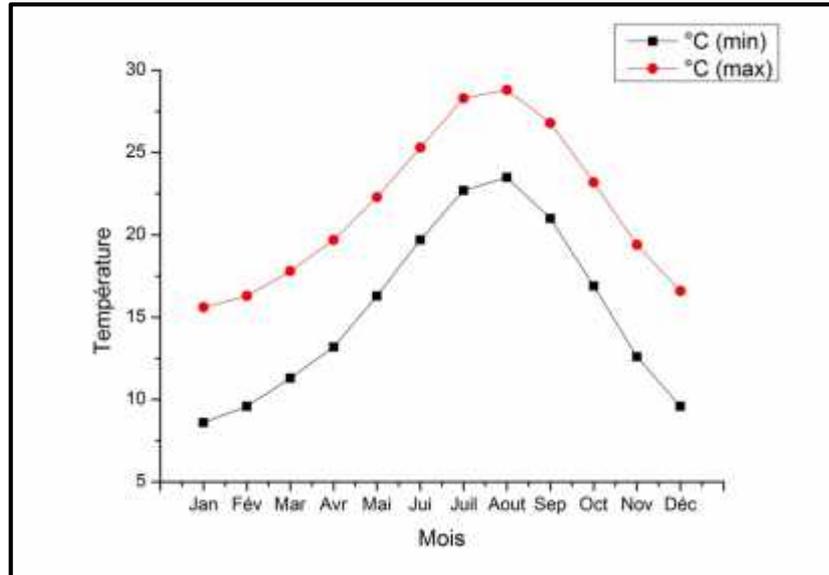


Figure III.3 : Courbes limites des variations de la température (Bouras et al., 2007)

- **Régime des vents** : Les caractéristiques des vents d'Arzew sont : des vents qui soufflent d'Ouest au Sud-ouest. Au mois de décembre prévalent les vents Sud-ouest de 7h à 18h : les vents Ouest et Sud à 13h. Les mêmes remarques peuvent être notées pour les mois de janvier, novembre, mars, avril et mai. Néanmoins pour les trois derniers mois, on enregistre des vents Nord-est (Ghodbani, 2001). Selon (Ghodbani, 2001), les mois de sécheresse sont les mois à prédominance des vents Nord-est. Il existe, par ailleurs, des vents chauds (Sirocco) provenant du Sud et Sud-ouest. Ce sont des vents chauds et secs de 09 à 16 jours par an (Figure III.4). En plus, le vent est une des forces régissant les courants et les houles (Zeghdoudi, 2006). Ces dernières constituent un facteur écologique très important le long du littoral algérien en absence des courants permanents et des marées puisqu'ils sont les seuls à agir activement au niveau des baies et des golfes de la côte au large (Boutiba, 1992).

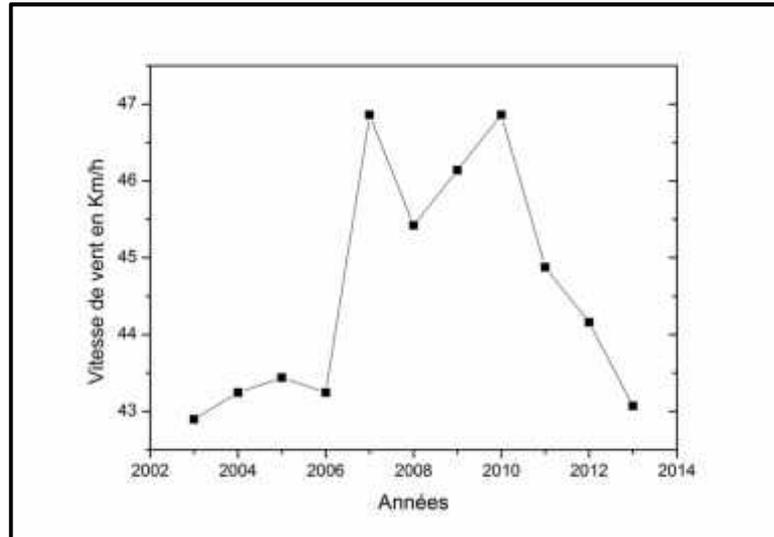


Figure III.4 : Variations interannuelles du régime du vent (Taghezout Fatima 2015).

3 Production des fertilisants azotés

Les engrais minéraux azotés sont pour la plupart produits à partir de l'Ammoniac (NH_3) obtenu par synthèse de l'azote de l'air (N) et de l'hydrogène (H) du gaz naturel.

L'une des filières de production consiste à oxyder l'ammoniac par combustion puis à absorber dans l'eau le dioxyde d'azote formé pour obtenir l'Acide nitrique (HNO_3).

La réaction directe entre l'ammoniac et l'acide nitrique, conduit au Nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) qui après granulation et addition d'une matière de charge - pour stabiliser le produit et le rendre moins hygroscopique qui permet de fabriquer les Ammonitrate. Le nitrate d'ammonium est également une matière première pour d'autres fertilisants azotés simples et pour les fertilisants minéraux composés.

3.1 Production d'ammoniac

Le gaz naturel est la matière première principale utilisée pour la production d'ammoniac. La méthode conventionnelle de production d'ammoniac est illustrée au schéma suivant :

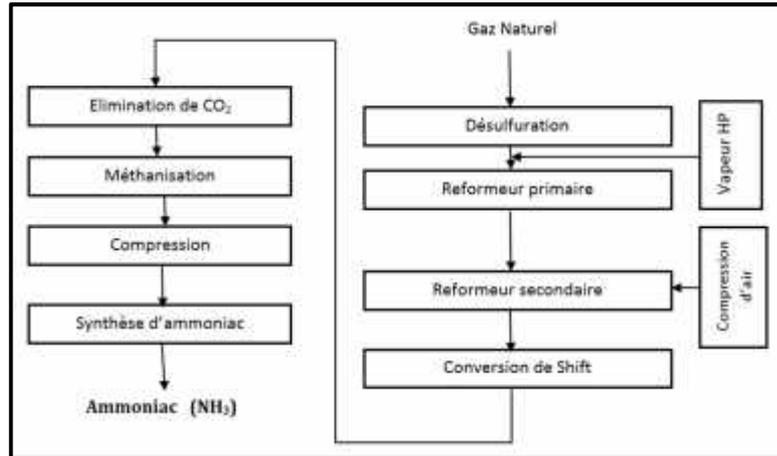


Figure III.5 : Description du procédé de production de l'ammoniac (UNIFA, 2010 ; IFA, 2011).

Le gaz d'alimentation entrant à l'unité de production d'ammoniac entraîne des particules liquides, ces particules sont extraites du gaz dans le séparateur et évacuées vers les égouts. Le gaz sort du séparateur et rentre dans le compresseur de gaz d'alimentation pour augmenter sa pression jusqu'à 41 bars, puis mélangé avec du gaz riche en hydrogène venant du compresseur de gaz de synthèse. Le gaz est ensuite préchauffé dans un préchauffeur à une température de 400 °C, et dirigé vers le réacteur de désulfuration qui est composé de deux lits catalytiques. Le lit inférieur est en oxyde de zinc (ZnO), il est utilisé pour extraire le soufre sous forme de H₂S du gaz de procédé, et le lit supérieur est un catalyseur d'hydrogénation à base Cobalt-Molybdène (Co-Mo).

3.1.1 Préparation du gaz de synthèse

Le gaz de procédé (synthèse) est préparé en trois étapes principales :

- Reforming primaire
- Reforming secondaire
- Conversion shift (CO en CO₂)

Reforming primaire : Le gaz issu de la désulfuration ne contient pas plus de 25 ppm de soufre, et 9,5 % de méthane non converti, il est ensuite acheminé au reforming primaire dans le four, après avoir été saturé par la vapeur d'eau (la vapeur d'eau est nécessaire pour la réaction de conversion) et chauffé jusqu'à 542 °C dans le serpentin de la zone de conversion et reparti sur les tubes de catalyseurs

suspendus de la section de radiation. La chaleur nécessaire pour la conversion est produite par 200 brûleurs orientés vers le bas qui fonctionnent au gaz combustible, la flamme des brûleurs est située entre les rangées des tubes de catalyseurs. La pression de gaz à la sortie du four est de 30,1 bars et sa température est de 542 °C, à cette étape, il croise l'air nécessaire au reforming secondaire dans un échangeur, où la température de l'air monte à 482 °C et celle du gaz de procédé baisse à 160°C.

Reforming secondaire : Le gaz de procédé partiellement reformé (30-40 %) rencontre à l'entrée du reformeur secondaire l'air qui vient du compresseur à une température de 600 °C. Le gaz de procédé est mélangé à l'air dans un brûleur pour augmenter davantage la température. Cela est fait par combustion d'une partie du gaz de procédé avec de l'oxygène fourni par l'air, il fournit aussi l'azote nécessaire à la synthèse du produit fini. Le mélange passe ensuite sur un catalyseur de reformage secondaire contenant du nickel, la chaleur de combustion dégagée nécessaire élève la température de sortie des gaz à 994 °C, et réduit la teneur en méthane de 9.58 % à environ 0.33 %.

Conversion shift : La teneur en CO de gaz de procédé à la sortie du reforming secondaire est de 13 %. Le convertisseur à haute température (HT) est conçu pour réduire la teneur en CO à 3 %. Après avoir passé par la chaudière où il est refroidi par l'eau d'alimentation, le gaz de procédé à 371 °C est converti à HT grâce à un catalyseur à base de Fer-Chrome selon la réaction suivante :

Le gaz est ensuite admis au convertisseur à basse température (BT) à une température de 242 °C, où la teneur en CO est réduite après conversion à environ 0.5%, le gaz est à une température de 254 °C, l'effluent de conversion qui contient environ 30 % des gaz secs sera d'abord refroidi par préchauffage d'eau d'alimentation avant d'être introduit dans le système d'élimination de CO₂.

3.1.2 Purification de gaz de synthèse

A cette étape de production, le gaz est à 63 °C et 27 bars de pression, le gaz va subir un nouveau traitement pour éliminer le CO₂ et CO pour avoir un mélange (H₂+N₂) de grande pureté (moins de 100ppm CO + CO₂).

Décarbonatation : Le gaz de procédé avec une teneur en CO₂ de 17 % arrive à l'absorbeur ; dans ce dernier, une solution pauvre et aqueuse en MEA va rentrer en contact avec le gaz pour absorber le CO₂, le gaz sortant de l'absorbeur ne contient plus que 10 ppm de CO₂.

Méthanisation : Le gaz de synthèse purifié venant de la section de décarbonatation contient toujours de faibles quantités de CO₂ et de CO. Ces derniers sont des poisons pour les catalyseurs de synthèse de l'ammoniac, alors le gaz est envoyé au méthanateur pour compléter la purification à une pression de 25 bars et une température de 316 °C. Le méthanateur contient un lit de catalyseur au Nickel très actif. Le gaz est chauffé à environ 111°C puis soumis à un deuxième chauffage pour obtenir la température de 316°C à l'entrée de méthanateur.

3.1.3 Synthèse d'ammoniac

Après refroidissement à la sortie de méthanier, le gaz de synthèse purifié rentre dans le compresseur à une pression de 24,6 bars et une température de 38 °C, il contient de H₂ et N₂ dans une proportion volumique (3/1), ainsi que du méthane et de l'Argon à une teneur de 1,2 %, ces derniers sont aspirés dans le compresseur, où la pression et la température du mélange sont augmentées à environ 64 bars et 173°C.

Réacteur de synthèse : avant de rentrer dans le réacteur, le gaz contenant moins de 2% de NH₃ est réchauffé progressivement jusqu'à 144°C. Le gaz passe à travers les lits catalytiques en présence de catalyseurs à base de Fer, la réaction de synthèse est exothermique :



Le gaz qui sort du réacteur (105-D) a une température de 20°C est refroidi jusqu'à 16,6°C par l'eau dans un échangeur.

Réfrigération de l'ammoniac : Le système de réfrigération à trois étages permet la condensation d'ammoniac de la boucle de synthèse, et permet sa récupération avec les gaz libres, et procure le refroidissement inter étage du compresseur du

gaz de synthèse. Les trois degrés de refroidissement sont respectivement 13.3, -7.2 et -33 °C.

3.2 Production de l'acide nitrique

L'acide nitrique (HNO_3) est obtenu à partir de l'ammoniac et de l'oxygène capturé de l'air. La figure III.6 montre les différentes étapes et entrants dans le procédé de production de l'acide nitrique.

a. Filtration et compression de l'air : L'air nécessaire à l'oxydation de l'ammoniac est aspiré de l'atmosphère à une température de 25°C. Avant d'entrer au compresseur, il passe dans un pré filtre à 3 microns (μ) après dans un filtre finisseur où toute particule supérieure à 1 μ est capturée. L'air est ensuite comprimé par un compresseur bi étage à refroidissement intermédiaire. Au 1er étage, la pression monte jusqu'à 3,4 bars et 150 °C. Dans le réfrigérant intermédiaire, l'air est refroidi à 85°C par l'eau de refroidissement. Au 2^{eme} étage du compresseur, la pression finale s'élève à 7,95 bars et la température à 210°C.

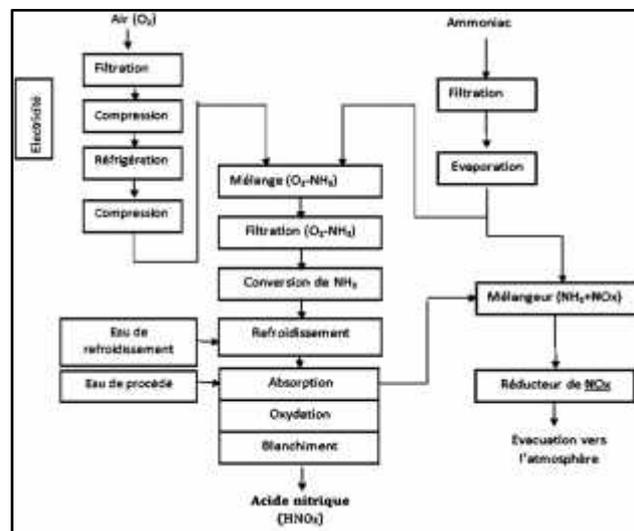


Figure III.6 : Description du procédé de production de l'acide nitrique (UNIFA, 2010 ; IFA, 2011).

À la sortie du compresseur, le débit d'air est partagé en deux parties **L'air primaire** représente 87% en volume du débit total qui est utilisé à la conversion d'ammoniac. **L'air secondaire** représente 13% en volume du débit total qui est

utilisé pour blanchir l'acide brut puis sera additionné au gaz nitreux de la colonne oxydation-absorption.

b. Évaporation de l'ammoniac et mélange air/ammoniac : L'ammoniac au niveau de l'unité de production de l'acide nitrique est stocké sous la forme liquide à une température qui varie entre -2 et 6°C, il contient environ 0.5% d'eau et 5ppm d'huile. Avant d'entrer à l'évaporateur, l'ammoniac passe par un filtre pour éliminer l'huile et toute particule solide. Une fois à l'évaporateur, l'ammoniac est évaporé à l'aide d'eau déjà réchauffée. Avant de sortir de l'évaporateur, l'ammoniac est réchauffé à 35°C pour éviter l'entraînement des gouttelettes d'eau et d'ammoniac.

c. Filtration du mélange (NH₃-Air) et conversion de l'ammoniac : Le mélange gazeux sort du mélangeur à une température d'environ 195 °C et une pression entre 6.4 et 7 bars, il est de nouveau filtré principalement pour capturer les particules de rouilles qui peuvent se former dans les conduites. La conversion de l'ammoniac est faite dans un réacteur de conversion en présence d'un catalyseur de platine-Rhodium. La conversion amène à la formation d'oxyde d'azote (NO) et l'azote (N₂) à une température qui varie entre 800 et 950°C .

d. Chaudière de récupération (groupe de génération de vapeur)

La chaleur dégagée lors de la réaction conversion de l'ammoniac dans le réacteur de conversion est utilisée pour la génération de la vapeur dans une chaudière de récupération existant dans le réacteur.

Les gaz nitreux quittant la chaudière de récupération à une température de 200 °C arrivent au refroidisseur de gaz qui les baisse à 55 °C par échange avec l'eau de refroidissement. En conséquence de ce contact, la grande partie de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de conversion se condense et se combine avec le NO₂ déjà formé pour produire de l'acide nitrique faible dans le fond du refroidisseur dont la concentration est de 35 à 39 %.

e. Oxydation-absorption et blanchiment

Oxydation : Les gaz quittent le refroidisseur pour rejoindre la colonne d'oxydation - absorption, où ils se mélangent avec l'air secondaire avant de traverser de bas en haut la colonne à plateaux. La colonne est composée de trois sections :

- ❖ Le fond de la colonne qui compte deux parties ; la section de blanchiment et la zone de décantation de l'acide faible ;
- ❖ La section d'oxydation ;
- ❖ La section d'absorption.

Absorption : L'eau nécessaire pour l'absorption des gaz et la formation de l'acide est fournie par une bêche à eau de procédé, elle est pompée par le sommet de la colonne. L'acide brut est dirigé vers la zone de blanchiment en bas de la colonne. La teneur de NO_x décroît au fur et à mesure de leur montée dans la colonne, alors que la concentration en acide augmente au fur et à mesure de sa descente. L'absorption des gaz est favorisée à une basse température (environ 28 °C) et un ΔP (pression différentielle entre le haut et le bas de la colonne) élevée.

Blanchiment : L'acide nitrique brut contient encore des gaz dissouts sous forme d'HNO₂ qui lui donne une couleur rouge jaunâtre. Les gaz nitreux sont éliminés en utilisant l'air secondaire et l'acide nitreux.

Depuis la zone de blanchiment, l'acide nitrique est envoyé vers les réservoirs de stockage par la pression du système.

f. Réduction des gaz de queue

Les gaz de queue quittent le sommet de la colonne d'absorption à une teneur en NO_x d'environ 3300 ppm, une température de 40 °C et une pression comprise entre 6,1 et 6,5 bars. La réduction de ces gaz est faite grâce à un catalyseur à base d'un mélange de titane, de tungstène et d'oxyde de vanadium.

Avant d'entrer au réacteur de réduction, les gaz doivent être chauffés à 260 °C. Pour obtenir cette température, ces gaz appelés bruts sont chauffés dans un préchauffeur jusqu'à 115 °C et ensuite dans un échangeur thermique jusqu'à 260°C.

Les gaz de queue quittent le réacteur à une température de 300 °C et passent par un échangeur thermique. Ce dernier va permettre la réduction de leur température à 230 °C. Les gaz purifiés sont ensuite acheminés vers la turbine de détente où leur pression sera réduite à 1 bar et leur température à 85 °C. Après détente, les gaz sont évacués vers l'atmosphère par la cheminée d'évacuation avec un taux de NOx inférieur ou égale à 150 ppm.

3.3 Production de nitrate d'ammonium (ammonitrate)

Le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) est obtenu à partir de l'ammoniac et l'acide nitrique. Le nitrate d'ammonium, aussi appelé solution nitrate ou ammonitrate, est obtenu lors de la production de fertilisant appelé calcium ammonium nitrate (CAN). La figure III.7 ci-dessous présente les différentes étapes et intrants dans le procédé de production du nitrate d'ammonium.

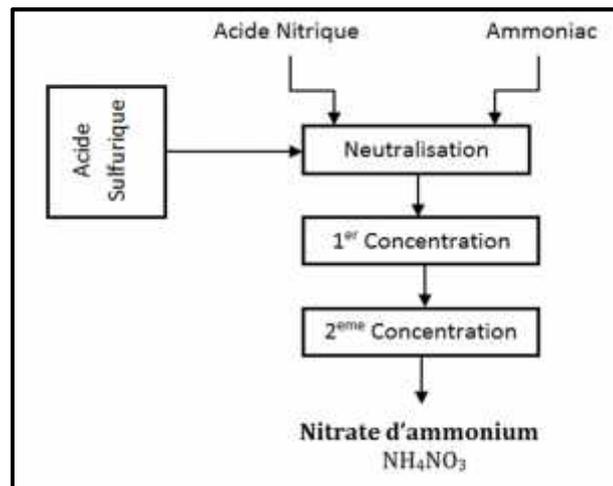


Figure III.7 : Description du procédé de production de la solution nitrate (UNIFA, 2010 ; IFA, 2011)

Section de stockage des matières premières

L'acide nitrique à 57% est stocké dans des bacs en Inox. L'ammoniac est stocké sous une pression de 3 à 4 bars, et une température qui ne dépasse pas 0 °C. L'alimentation des lignes de production dans l'unité par les matières premières est assurée par des pompes de refoulement selon les besoins de production. Avant d'entrer au surchauffeur, l'ammoniac à l'état liquide, entre dans un évaporateur où il est évaporé avec l'aide de l'eau de refroidissement, sa température à la sortie de

l'évaporation est de 17 °C et sa pression est de 6 bars. Une fois au surchauffeur, la température de l'ammoniac est élevée de 17 à 30 °C avec une pression de 4,5 bars.

Neutralisation du mélange (NH₃-HNO₃)

La neutralisation de l'acide nitrique à 57% massique auquel est additionné un peu d'acide sulfurique se fait par de l'ammoniac à l'état gazeux dans un réacteur en alliage inoxydable.

Premier effet de concentration (première évaporation)

La solution nitrate à 77% sort du séparateur et passe par un échangeur thermique. Ainsi chauffée, la solution passe en suite dans un séparateur opérant sous vide. La solution nitrate à 95% massique à 130 °C issue du premier effet de concentration est recueillie dans un bac de récupération.

Deuxième effet de concentration (deuxième évaporation)

La solution issue de la première concentration est envoyée vers la deuxième par une pompe de refoulement à 9,7 bars. Le deuxième effet de concentration est fait en deux étapes, l'évaporateur et le finisseur.

La solution passe dans les tubes d'un échangeur à contrecourant avec l'air chauffé à 190 °C, ce dernier est antérieurement chauffé par de la vapeur moyenne pression fournie par la centrale utilitaire II, dans le côté calandre de l'échangeur circule de la vapeur MP. À la partie supérieure de cet échangeur sort l'air de séchage chargé d'humidité et d'une petite quantité de vésicules de nitrates et d'ammoniac qui sera lavé dans la section d'assainissement des gaz.

La solution de nitrate sort de la partie inférieure de l'échangeur à une concentration de 99,8 %, elle sera une seconde fois soumise au séchage dans le finisseur dans lequel l'air circule à contrecourant, à la sortie de ce dernier, la solution déborde à une température de 180 °C dans un bac appelé bac de mélange.

3.4 Production de Calcium Ammonium Nitrate (CAN)

Le CAN est produit dans la même unité de production que la solution nitrate. Les différentes étapes de production de CAN sont montrées dans la figure III.8 ci-dessous. Les lignes pointillées présentent le gaz destiné au lavage. Les lignes traites discontinues présentent les opérations de recyclage des fines et des rebuts.

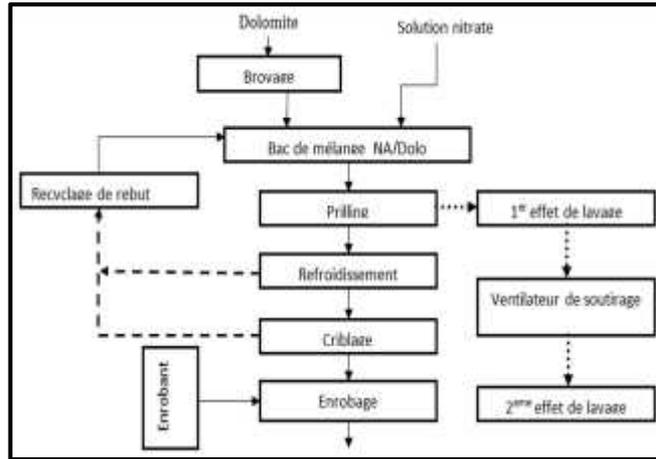


Figure III.8 : Description du procédé de production de CAN à 27% N (UNIFA, 2010 ; IFA, 2011)

Stockage et broyage de dolomite : Avant d'entrée dans l'unité, les gravillons de dolomites passent par une trémie d'alimentation, puis par un concasseur grâce à un élévateur avant que tous gravillons inférieurs à 15 mm seront stockés dans un silo. Une fois au silo, les gravillons sont versés dans le broyeur par un convoyeur à bande. Après le broyage, la dolomite est fluidisée avec de l'air chaud à 75 °C. L'humidité résiduelle de la dolomite broyée ne doit pas dépasser 0,5%. Après avoir été séparée de l'air, la dolomite est déposée dans un silo de stockage de la dolomite broyée, avant qu'elle soit injectée dans le procédé selon les besoins de production. L'alimentation du procédé par la dolomite fluidisée se fait dans le bac de mélange situé en haut de la tour de prilling.

Mélange du produit : Le bac de mélange tire son appellation du fait que dans le cas de la production du CAN, la solution sera ballastée par de la dolomite finement broyée et dosée selon les spécifications requises pour le produit marchand. Le bac est muni d'un serpentin à vapeur MP et d'un agitateur central. Lors de la production de CAN, la solution de nitrate d'ammonium additionnée d'une quantité de dolomite est soutirée de sa partie inférieure et pulvérisée dans la tour de prilling grâce aux quatre buses de pulvérisation placées symétriquement sur la partie supérieure de la tour.

Prilling et refroidissement : D'une hauteur de 34 mètres, la solution issue du bac de mélange est pulvérisée à partir des buses. Lors de leurs chutes, les gouttes de

CAN, sont refroidies et cristallisées. L'air ascendant aspiré par un ventilateur d'un débit de 789000 m³/h en haut de la tour, joue le rôle de support des frigories nécessaires au refroidissement du produit ainsi qu'il freine la chute libre des grains de CAN sur le plancher de fond de tour. Le plancher de fond de tour est raclé en continu par un racleur qui déverse le produit ayant une température de 100 °C dans une goulotte d'alimentation du convoyeur à bande. Ce dernier déverse dans un émotteur qui casse les mottes et les gros grains souvent formés. Le produit est ensuite transporté par convoyeur vers un refroidisseur sous forme d'un lit fluidisé, où il est refroidi jusqu'à 45 °C dans la première table, et à moins de 31 °C à la sortie de la deuxième. Un air traité est injecté sous la plaque perforée de la deuxième table. Après un échange calorifique, l'air sera repris par un ventilateur intermédiaire, ce dernier va le faire passer vers un ventilateur, qui lui à son tour, injectera sous la première table. A la sortie de la table, l'air sera saturé par des particules fines de produit, ces fines seront aspirées et piégées par une batterie fonctionnant sous vide et ensuite réinjectées par une soufflante dans le procédé de production.

Classification et recyclage : En aval du refroidissement à lit fluidisé est installé un crible où la séparation des grains selon les spécifications en matière de granulométrie du produit fini est faite. Les gros de diamètre supérieur à 4mm ainsi que les fines de diamètre inférieur à 2mm, sont séparés du produit marchand. Avant d'être recyclés, les gros du rebut retenus par le tamis supérieur, passent par un broyeur qui à son tour déverse dans une petite trémie, le rebut est ensuite recyclé vers le bac de mélange.

Enrobage et expédition vers l'atelier de conditionnement : Le produit de granulométrie marchande issu du crible est enrobé d'une fine pellicule protectrice. La pellicule d'enrobant est dosée par deux pompes doseuses avec un rapport de 0.5% massique du produit fini.

Assainissement et lavage des gaz et poussières : L'air issu de la tour de prilling est aspiré par un ventilateur à travers un premier laveur pour être partiellement débarrassé des gaz et poussières qu'il entraîne. Au laveur, l'air est fortement

mélangé à l'eau de dilution à une concentration de 20% de nitrate, une partie (environ 85%) de l'air refroidi et saturé des particules fines est partiellement traité dans le premier laveur, et ensuite recyclée dans le fond de la tour de prilling. Le reste de l'air (environ 15%), passe dans le deuxième laveur où il va subir un dernier lavage à l'eau pulvérisée. Leflux d'air ainsi lavé va s'échapper par la cheminée.

Filtration de l'eau de lavage : L'eau de lavage des gaz et poussières issue de la tour de prilling et du refroidisseur à lit fluidisé est filtrée et récupérée en continu par un système de récupération. Une partie de la solution circulante dans le laveur est envoyée dans un réservoir agité à partir duquel elle sera pompée pour alimenter un filtre à presse avec une humidité de 10%. Les particules à la sortie du filtre seront conduites vers le stock de dolomite, et l'eau sera réinjectée comme eau de lavage.

Chapitre IV

Etude expérimentale et simulation numérique de la dispersion des liquides et gazeux – Résultats

Résumé

Après une étude bibliographique sur l'ensemble des propriétés physico-chimique des polluants maritimes et atmosphériques mises en jeu dans le système environnementale autour d'une source de pollution comme l'entreprise de fertilisants Fertial d'Arzew, on a effectué des mesures de pollutions expérimentales sur les dégagements émis par le fonctionnement de l'entreprise Fertial déversant ses effluents dans la mer méditerranéenne à l'ouest de l'Algérie. Afin de réduire l'impact environnemental de cette entreprise, on propose une série de solutions relativement simples trouvées et vérifiées par des études de simulation numérique réalisées sous le code de calcul Ansys CFX version 10.

Au cours de ces vingt dernières années, l'évolution rapide des capacités des calculateurs, a enregistré des progrès notables dans la compréhension de nombreux phénomènes physiques relativement complexes comme la résolution des équations d'un phénomène physique de la dispersion à l'échelle atmosphérique. Le choix de l'utilisation de la méthode numérique est très important tout en en développant les moyens de résolution de ces équations. Dans cette étape, intervient le concept de la discrétisation des équations différentielles de transport et son résultat est un système d'équations algébriques non linéaires, ces équations décrivent les propriétés discrètes du fluide au niveau des nœuds qui représentent les solutions dans le domaine d'étude. Il existe plusieurs méthodes numériques d'intégration des équations différentielles aux dérivées partielles, à savoir :

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

Pour notre configuration, on utilisera la méthode des volumes finis avec des volumes de contrôles hexaédriques et un maillage structuré. Le schéma de discrétisation employé est de type Upwind. La méthode des volumes finis qui se distingue par sa fiabilité, son adaptation au problème physique, sa garantie pour la conservation de masse et de la quantité de mouvement et de tout scalaire transportable sur chaque volume de contrôle et dans tout le domaine de calcul, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes numériques.

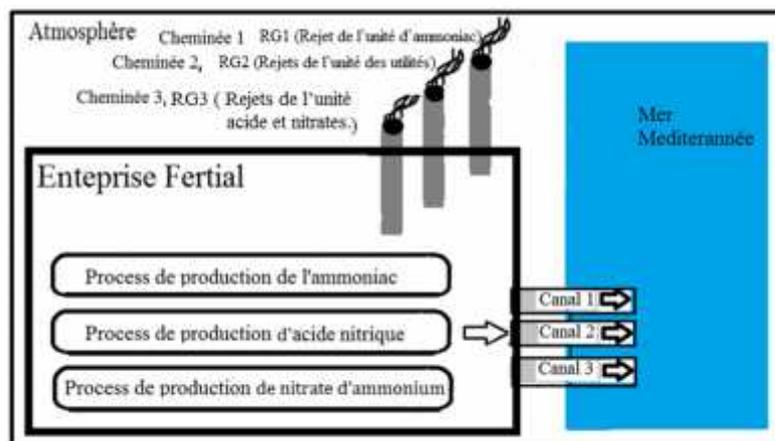


Figure IV.1 : Schéma des différentes évacuations de l'entreprise Fertial-Arzew

On estime que ces études de simulation numériques permettront de répondre totalement ou partiellement aux problèmes de pollution provoqués par l'entreprise Fertial dans son environnement proche. Pour la mise en évidence des éventuels dysfonctionnement de l'entreprise Fertial dans les différents dégagements vers l'extérieur et cerner d'éventuels problèmes on est obligé d'explorer le site en effectuant des séries de mesures expérimentales physico-chimiques directement au niveau des sorties des égouts RL1, RL2 et RL3 pour les effluents liquides et au niveau des sorties des trois cheminées pour les effluents gazeux RG1, RG2 et RG3 comme schématisé dans la figure ci-dessous.

1 Résultats expérimentaux physico-chimiques des effluents liquides (maritime)

L'étude expérimentale de la pollution maritime consiste principalement à représenter les différents résultats physico-chimiques obtenus sur des échantillons prélevés sur le site d'étude au niveau des sorties d'évacuation des eaux usées de l'entreprise. L'analyse des résultats permettront de préciser l'état des eaux usées issue du complexe industriel FERTIAL-ARZEW, ceci permettra de réfléchir sur les solutions adéquates pour stopper la pollution de la mer méditerranéenne. Pour des raisons de disponibilité, les principaux paramètres physico-chimiques pris en considération dans cette étude sont principalement le pH, la température, les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO).

1.1 Mesure de température et du pH des eaux usées

Les mesures de la température et du pH dans le domaine de la recherche scientifique écologiques et environnementale d'une manière générale sont les premiers indices à réaliser pour détecter si y'a ou pas déséquilibre de l'environnement en question. Pour cela on a réalisé une série de mesures préliminaires de température directement sur les eaux usées sortantes des trois canaux d'évacuation dans l'eau de mer, nommés simultanément (rejet liquide) RL1, RL2 et RL3 sur une durée de deux mois comme le montre les trois courbes de la figure IV.2. De même, les mesures de pH, ont été réalisées sur des prélèvements

d'échantillons d'eaux usées sortantes des trois canaux en question sur la même période.

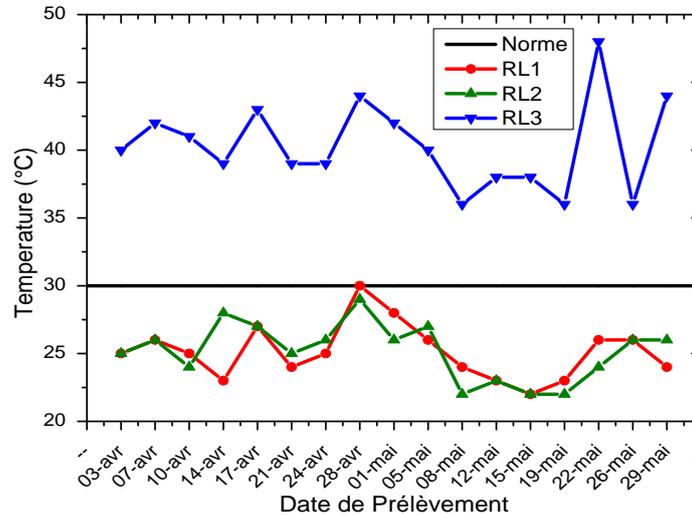


Figure IV.2 : Evolution de la température des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3

Le suivi de la température des rejets montre que la température des effluents sortant du canal 3 est largement plus importante que celles des deux autres. Elles varient entre 22 °C et 30 °C pour les deux premiers canaux RL1 et RL2 et varie entre 36 °C et 44 °C pour le troisième canal RL3. Il apparait que la température des eaux sortantes du canal 3 (RL3) dépasse largement les normes tolérées par la législation nationale publiée dans le journal officiel algérien (JO, 2006) dans lequel on trouve que la température tolérée ne doit pas dépasser le seuil de 30°C. La difficulté de coopération des responsables techniques de l'entreprise Fertial, rend difficile d'apporter les raisons principales responsables de cet écart de température entre les eaux usées issues des deux canaux RL1 et RL2 avec ceux du canal RL3. Probablement les tests complémentaires prévus dans la suite de cette étude sur les différents échantillons, apportera des éléments de réponse à cet écart important de température. Simultanément avec les mesures de température, on mesure le pH des effluents liquides sortants des trois canaux le long de la même période de deux mois. Les résultats obtenus sont représentés sous forme de courbes comme le montre la figure IV.3.

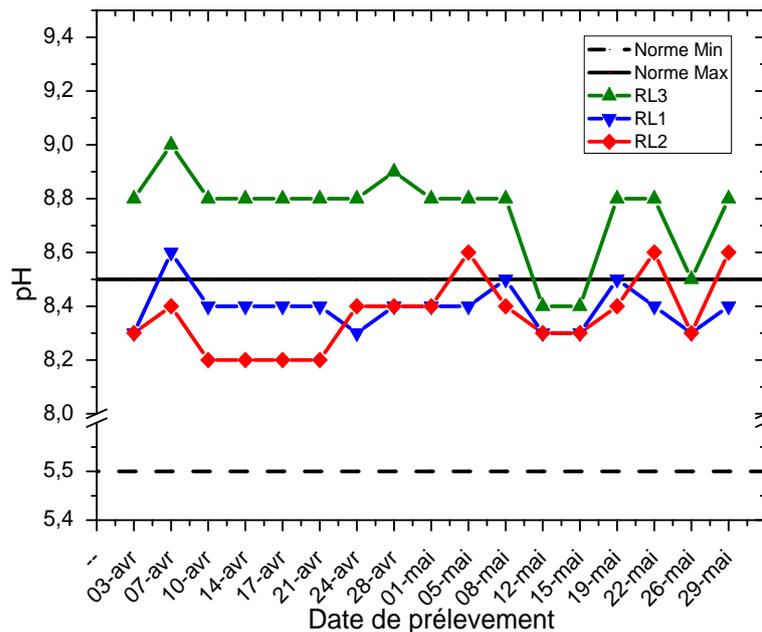


Figure IV.3 : Evolution du pH des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3

La mesure du pH d'un liquide aqueux ou non, révèle le taux d'agressivité du milieu en particulier dans notre cas sur la faune et la flore marine. C'est pour cette raison que le pH des effluents sortant des entreprises doit être étroitement surveillé et par des période de prélèvement périodiques (**BRISOU et DENIS, 1980**). Il apparait que pour les rejets des deux canaux RL1 et RL2 que le pH est dans sa globalité situé dans la plage comprise entre 8.2 et 8.5, ces valeurs sont tolérées par les normes nationales légales fixées à l'intervalle compris entre 5.5 et 8,5. Il ressort des dépassements occasionnels du pH sur ces deux canaux RL1 et RL2 ce qui doit être pris en considération pour lancer une alerte afin de surveiller de plus près les rejets de ces deux canaux jusqu'à la résolution complet du problème provoquant ces dépassements de pH. Comme cela été constaté sur les mesures de température, les mesures de pH trouvées dans le canal 3 se situent en quasi-totalité en dehors de la plage tolérée par la législation en vigueur ce qui confirme la vulnérabilité de ses rejets sur l'environnement direct. Il est à noter que l'élément principal qui augmente le degré d'ionisation dans les effluents liquides dégagés est l'ammoniac.

1.2 Mesure des Matières en suspension (MES)

Pour affiner d'avantage l'impact écologique des effluents issus de la société Fertial, et comme les effluents dégagés dans les égouts sont en importantes proportions sous forme de suspension de particules et de masses ce qui nous oblige à en tenir compte. Le paramètre physique qui rend des informations sur la qualité de ces suspensions est le taux de matière en suspension (MES). Les particules en suspension peut dégrader considérablement l'écologie aquatique d'une manière irréversible par le colmatage des fonds aquatiques récepteurs, simultanément compromettre de manière sensible le fonctionnement du réseau d'égouts provoqué par les dépôts de boue le long du canal.

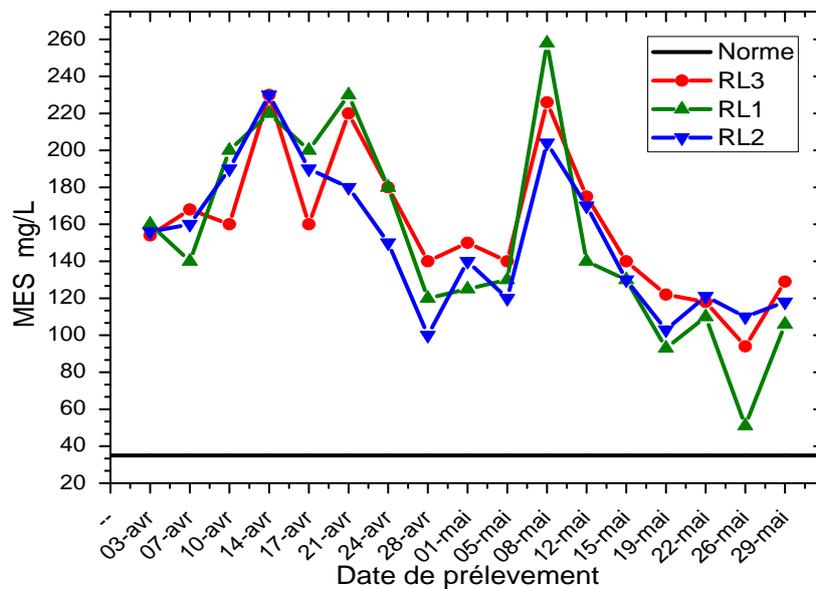


Figure IV.4 : Evolution du MES des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3

Pour ce qui concerne le complexe Fertial, on a mesuré le paramètre MES au niveau des sorties des trois canaux en pendant une durée de deux mois, avril et mai. Les résultats des mesures sont regroupés dans les graphiques de la figure IV.4. il en ressort que les eaux rejetées via les trois canaux sont très chargées en MES atteignant des taux de suspension très alarmants, en dépassant très largement (de dix fois) les limites tolérées par la législation en vigueur qui sont de 35 mg/L. La mesure du MES incrimine l'ensemble des trois canaux RL1, RL2 et RL3.

1.3 Mesure des taux de demande biochimique et chimique dans les eaux usées (DBO₅ et DCO)

La demande biochimique (ou Biologique) en oxygène (DBO) est un paramètre indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau contaminée. Ceci permet de mesurer sa qualité, elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques dissoutes ou en suspension. Le standard de mesure de ce paramètre DBO s'effectue 21 jours après le prélèvement pour donner le temps aux microorganismes de dégrader les matières en suspension et pour permettre également des mesures significatives ce paramètre est alors écrit DBO₂₁. Pour ce qui nous concerne, il est à rappeler que les conditions de travail dans lesquelles ont été effectuées l'ensemble des mesures expérimentales n'ont pas été les meilleures et que les responsables de la société Fertial ont eu des réticences à coopérer en nous limitant la période de travail et d'exploration à seulement deux mois et pour des raisons pratiques on a opté à la mesure du DBO₅ tous les cinq jours, durée minimale tolérée par les normes législatives nationales et internationales en vigueur. Le paramètre chimique appelé « Demande Chimique en Oxygène » DCO, est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet également d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

Les mesures expérimentales des deux paramètres DBO et DCO détaillées dans le premier chapitre nécessitent des moyens matériels assez considérables et une présence humaine spécialisée en permanence ce qui nous a poussé à analyser seulement les eaux usées issues du canal RL3. Les résultats des mesures de DBO₅ et de DCO le long des deux mois sont présentés dans la figure IV.5.

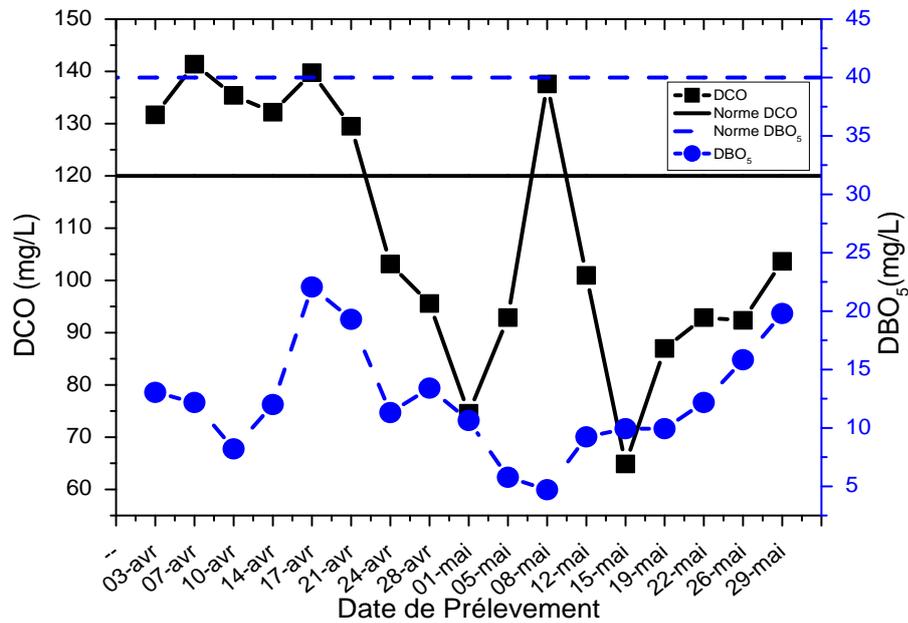


Figure IV.5 : Evolution des deux demandes DCO et DBO₅ des différents effluents liquides sortants du canal RL3

L'analyse de la DBO₅ des échantillons prélevés des eaux usées du canal RL3, montrent que les teneurs biologiques sont faibles et inférieures à la norme tolérée qui est de 40 mg/L (Figure IV.5). Les valeurs de DBO₅ semblent refléter la réalité et qui trouve explication dans les courbes de pH qui ont révélées un milieu très agressifs et non favorables à la prolifération des microorganismes. Ceci, nous empêche pas de soupçonner le mauvais choix de la durée de 5 jours qui semble a priori insuffisante au développement des microorganismes dans les prélèvements effectués directement à la sortie du canal 3, et qui ne permet pas d'obtenir des valeurs significatives des mesures de DBO₅. Les résultats de la DCO montrent une activité assez importante et soutenue le long du mois d'avril dans la fabrication des engrais au point de dépasser les normes tolérées par la réglementation en vigueur de 120 mg/L de demande chimique en dioxyde puis un ralentissement relatif le long du mois de mai. Une grande charge en matières organiques dans l'eau usée entraîne un développement de micro-organismes aérobies provoquant une chute d'oxygène dissous dans le milieu récepteur et conduit à l'asphyxie des espèces présentes. La DCO mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables. Pour une meilleure appréciation de l'origine des eaux

usées, le calcul des rapports DBO_5/DCO et MES/DBO_5 présentent des intérêts importants. Grâce à l'exploitation de ces rapports qu'on considère comme un bon moyen d'appréciation du degré de pollution des effluents du site naturel à étudier et à caractériser, on peut optimiser leurs paramètres physico-chimiques et envisager par la suite le mode de traitement le plus adapté.

1.3.1 Mesure du rapport DBO_5/DCO

Le rapport DBO_5/DCO permet d'indiquer si les eaux usées rejetées directement dans le milieu récepteur ont des caractéristiques des eaux usées biodégradables ou pas. Comme le montre la courbe de la figure IV.7 pour le canal RL3 qui représente la variation du rapport DBO_5/DCO le long des deux mois d'avril et mai. Il apparaît que toutes les mesures effectuées sont au-dessous des normes tolérées de 0.20.

Pour caractériser une pollution industrielle, le rapport DBO_5/DCO donne des indications très intéressantes sur l'origine d'une pollution des eaux usées et ses possibilités de traitement.

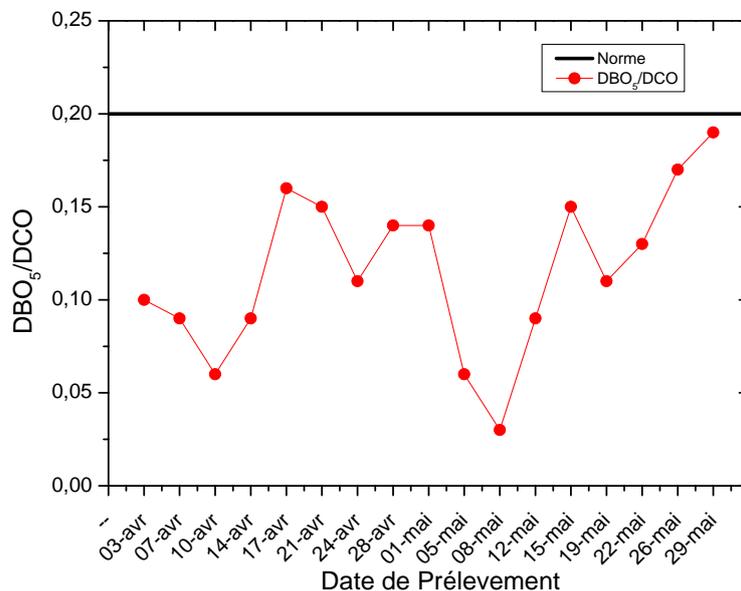


Figure IV.7 : Evolution du rapport DBO_5/DCO des effluents liquides sortants du canal RL3

Les différents prélèvements effectués sur les effluents issus du troisième canal RL3 présentent un rapport DBO_5/DCO inférieur à 0.2 ce qui veut dire que toutes les

matières organiques en suspension dans l'eau usée dégagée par Fertial sont biodégradable. Il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des traitements biologiques.

1.3.2 Mesure du rapport MES/DBO₅

Pour une meilleure caractérisation des eaux évacuées par le canal RL3, on effectue une mesure supplémentaire qui renseigne sur la biodégradabilité des effluents contenus dans l'eau souillée. Il s'agit du paramètre rapport MES/DBO₅ le long de la période d'exploration comme le montre la figure IV.8.

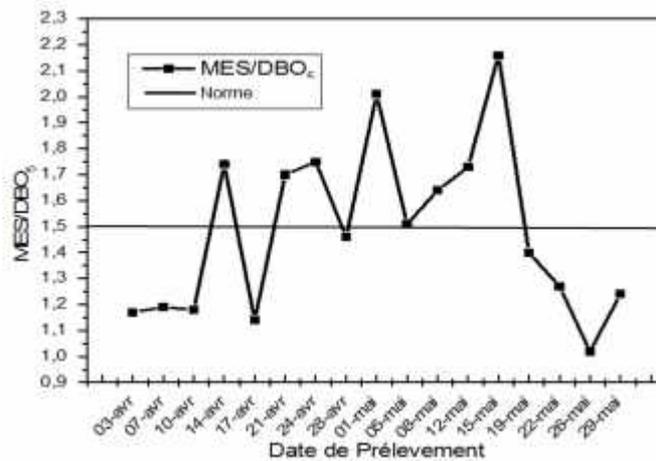


Figure IV.8 : Evolution du rapport MES/DBO₅ des effluents liquides sortants du canal RL3

Au niveau des eaux usées du collecteur RL3, le rapport DBO₅/DCO est faible (<0,2), ce qui confirme que les eaux usées drainées par ce collecteur sont faiblement chargées en matières organiques, avec un rapport moyen de MES/DBO₅ d'environ 1,4. Par ailleurs, le rapport DCO/DBO₅ est faible, ce qui nous permet de déduire que la charge en matières organiques dans les eaux usées de ce collecteur est facilement biodégradable.

1.4 Mesure de la concentration d'huiles et de graisses (H.G)

Pour aussi réduire la pollution due aux effluents issus de la société Fertial. Un autre paramètre physique qui rend des informations sur la qualité des eaux usées est l'évaluation du taux de lipides en suspension dans l'eau appelé aussi taux de matière grasses en suspension (H.G). On a représenté dans la figure IV.9 la variation de la concentration des particules grasses en suspension le long des deux

mois d'exploration et d'analyse des effluents issus des trois canaux d'évacuation RL1, RL2 et RL3.

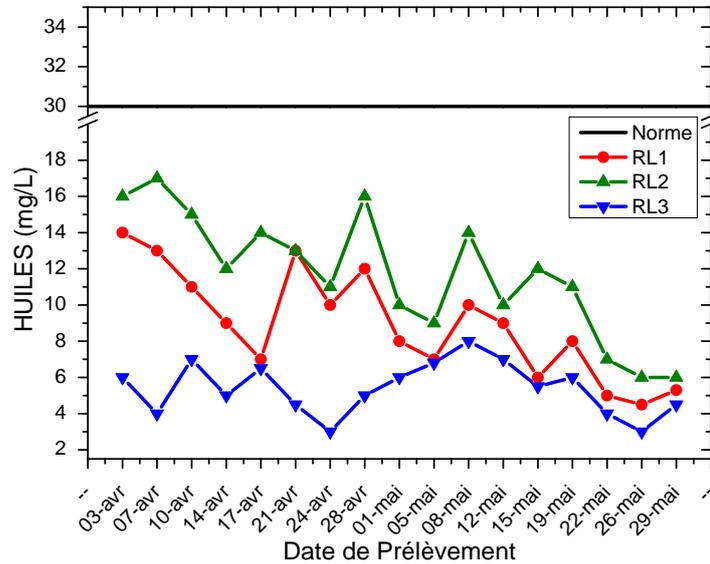


Figure IV.9 : Evolution de la concentration d'Huiles et de Graisse en suspension dans les différents effluents liquides sortants des canaux RL1, RL2 et RL3

L'analyse des résultats des variations de la concentration des huiles et des graisses dans les eaux usées dégagées par l'entreprise Fertial révèlent des concentrations au maximum de 18 mg/L, ces valeurs sont en dessous des normes en vigueur tolérées par la législation Algérienne et internationale fixée à 30mg/L. Comme les valeurs mesurées sont au-dessous des normes tolérées, pris à part, on peut considérer que l'entreprise Fertial n'est pas polluante pour ce type de pollution et aucun traitement n'est recommandé. Les valeurs des concentrations mesurées ne sont pas négligeables, l'éventualité de pollution de ces suspensions grasses ne doit pas être complètement écarté surtout quand à leur associations aux autres types de polluants.

1.5 Mesure du taux d'azote Kjeldahl (NTK) et l'azote ammoniacal (NH_4^+)

Dans la pratique la mesure de l'Azote Kjeldahl (NTK) est un indicateur de pollution du milieu et son contrôle permet de suivre l'évolution des contaminations. Ce paramètre regroupe deux formes d'azote à savoir l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote organique. Ce type de pollution a été prise en considération dans notre

compagne d'analyses des effluents de l'entreprise Fertial et on a enregistré l'ensemble des mesures de concentration d'azote Kjeldahl en fonction du temps limité à la période accordée par les responsables de l'entreprise pour les trois canaux d'évacuation RL1, RL2 et RL3 dans la figure IV.8. Egalement, on a effectué simultanément des mesures de l'ion ammonium (NH_4^+) qu'on a récapitulé dans la figure IV.10.

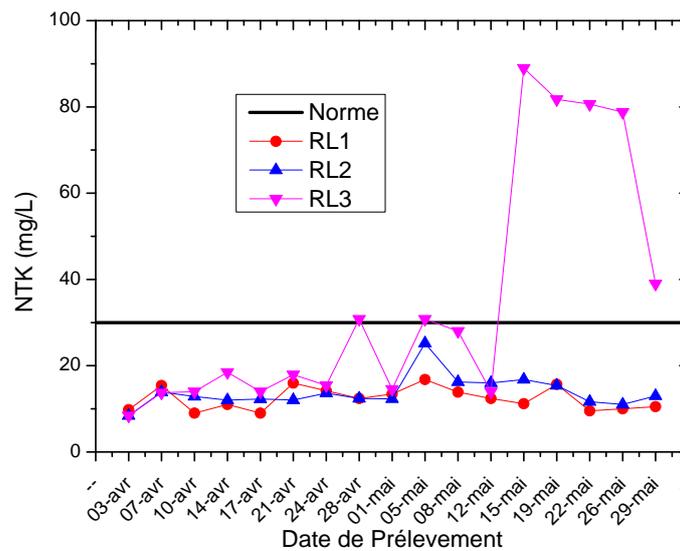


Figure IV.10 : Evolution d'Azote Kjeldahl (NTK) des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3

Le dosage de l'azote Kjeldahl est réalisé par distillation en présence de l'alliage de Dewarda. Les résultats représentés sur la figure IV.10 montrent des valeurs de concentration de l'azote total au-dessous de 30 mg/L, normes tolérées dans les effluents mis à part le troisième canal RL3 qui a enregistré des dépassements de concentration le long de la deuxième quinzaine du mois de mai. Ce paramètre expliquant la forte charge en composés azotés dans les effluents de l'unité Fertial traduisant l'état critique de rejets du canal RL3.

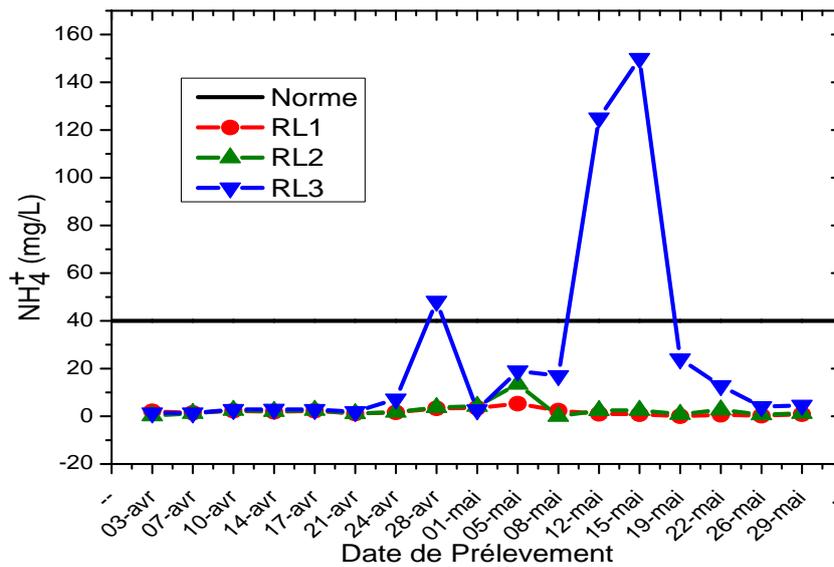


Figure IV.11 : Evolution du NH_4^+ des différents effluents liquides Sortantes des canaux RL1, RL2 et RL3

Les mêmes constatations peuvent être soulevées dans les mesures de la concentration de (NH_4^+) dans les trois canaux d'évacuations représentés dans la figure IV.11 traduisant un fonctionnement acceptable au début de la période d'exploration et un important dysfonctionnement et inquiétant dans les évacuations du canal RL3 de Fertial à partir de la date du 20 avril pour dépasser d'une manière très dangereuse les normes de tolérances fixées à 30 mg/L pour les azotes totales et à 40 mg/L pour les ion (NH_4^+). Il est à noter que ces composés favorisent la prolifération d'algues et de phytoplancton ce qui a pour conséquence l'eutrophisation du milieu récepteur qui déséquilibre totalement le milieu; en effet, la lumière ne parvient plus aux couches d'eau situées sous la surface en bloquant ainsi la photosynthèse des couches inférieures.

A l'issue de l'ensemble des résultats des différentes investigations, on a mis en évidence l'effet exercé par les rejets d'eaux usées de l'entreprise Fertial sur l'eau de mer. La température des rejets peuvent avoir des impacts sur l'activité biologique, l'abondance et la distribution des espèces. Certaines pourraient être attirées ou repoussées, d'autres pourraient prédominer au site de rejet. En effet, ceci a été constaté au niveau du site des rejets étudiés, nous avons remarqué l'absence d'une biodiversité faunistique et floristique.

Globalement, les eaux usées dégagées par Fertial révèlent des dysfonctionnements très importants par moment, surtout au niveau du canal RL3 qui libère des effluents à des concentrations très inquiétantes contaminant ainsi l'eau de mer qui se traduira par des effets néfastes sur les écosystèmes marins et ruinent la vie aquatique en provoquant une perturbation des fonctions vitales de ces organismes.

2 Résultats expérimentaux des effluents gazeux (atmosphériques)

Le fonctionnement de l'entreprise Fertial, engendre en plus des rejets liquides dans l'eau de mer, des rejets gazeux dans l'atmosphère sous forme de fumées sortantes des trois cheminées de 30 mètres de hauteur. Les dégagements gazeux sont visibles à l'œil nu de très loin. Pour des raisons de précaution et de sécurité on suspecte à priori l'impact de ces fumées direct ou indirect sur l'environnement proche et lointain. Comme cela a été le cas dans les rejets liquides, on a voulu évaluer cet impact environnemental par des prises de mesures expérimentales d'un certain nombre de paramètres physiques représentatifs. Pour des raisons de difficulté d'accès aux trois cheminées d'évacuations des rejets gazeux, les responsables de la société Fertial se sont contentés tout simplement de nous transmettre des anciennes mesures effectuées par leurs services techniques. On présentera les différentes mesures obtenues sur chacune des trois cheminées respectivement appelées rejets gazeux RG1, RG2 et RG3. Pour chacune des cheminées Les paramètres des mesures récupérées sont les quantités de NO_x, de CO₂ et de fumée dégagées le long des sept années allant de 2007 à 2013. On a pu obtenir également les mesures des trois paramètres qui permettent d'évaluer la quantité de fumées, NO_x et CO₂ dégagées le long du mois de Mai de l'année 2014.

2.1 Les rejets gazeux annuels RG1 de la première cheminée

Pour des raisons de différences importantes d'échelles de valeurs des trois gaz mesurés et pour le maximum de clarté on présentera les différentes mesures de la première cheminée sous forme de deux figures séparées. La première contient les quantités mesurées de la fumée, du CO₂ et du Gaz naturel consommé, la seconde celles du NO_x dégagées, comme le montre les deux figures IV.12 et IV.13

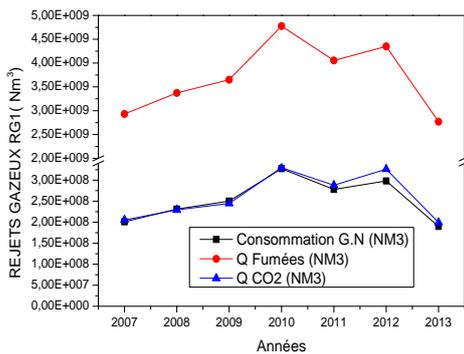


Figure IV.12 : Emissions annuelles des fumées, du CO₂ et de la quantité de gaz naturel consommée pendant la période 2007-2013 de la première cheminée de l'unité d'ammoniac

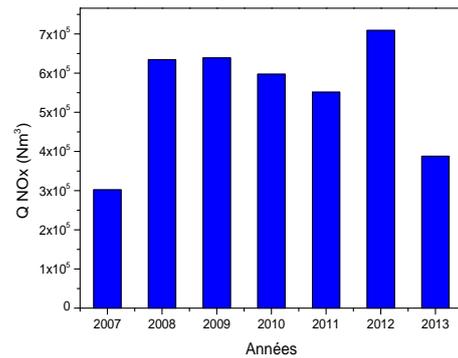


Figure IV.13 : Emissions Annuel de NO_x pendant la période de 2007-2013 de la première cheminée de l'unité d'ammoniac

Il apparait dans les courbes des figures IV.12 et IV.13 que les quantités de fumées dégagées sont largement plus importantes que celles du CO₂ et du NO_x et que l'évolution de ces dégagement dépend de l'activité industrielle de l'entreprise Fertial qui est représentée par la consommation de l'entreprise en gaz naturel pendant les sept années allant de 2007 à 2013.

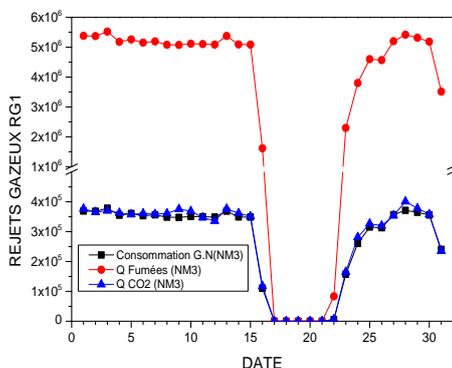


Figure IV.14 : Emissions du mois de mai 2014 de différents polluants de l'unité d'ammoniac

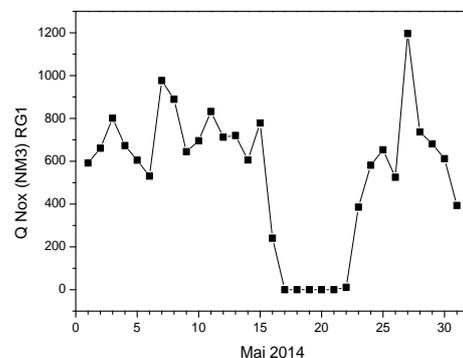


Figure IV.15 : Emissions de NO_x pendant le mois de mai 2014 de l'unité d'ammoniac

En faisant une étude plus fine en prenant les mêmes paramètres que précédemment à l'échelle d'un mois, le mois de mai 2014 (ce choix nous a été imposé par les données des mesures expérimentales qui nous ont été remis par les

techniciens de l'entreprise Fertial), représentées dans les courbes des figures IV.14 et IV.15,

Les mesures des quantités de CO₂ et du gaz naturel consommées par l'entreprise Fertial sont pratiquement confondues et dix fois moins que les quantités de fumées dégagées. Les quantités de NO_x dégagées sont environ mille fois inférieures à celles dégagées par le CO₂. Comme cela été mentionné auparavant les dégagements des différents polluants suivent l'évolution de la consommation en gaz naturel. Cette évolution semble constante le long du mois mai 2014 qui s'est traduit sous forme de paliers de valeurs, mis à part les six jours allant du 17 au 22 mai 20014 où il semble un arrêt total de l'activité du processus industriel dégageant dans la première cheminée.

2.2 Les rejets gazeux annuels RG2 du la seconde cheminée

On procède de la même façon que dans le cas des mesures effectuées sur la première cheminée pour évaluer les différents quantités d'effluents gazeux émis par la seconde cheminée le long des sept années comme le montrent les figures IV.16 et IV.17 ; puis le long du mois de mai 2014 comme c'est représenter dans les figure IV.18 et IV.19.

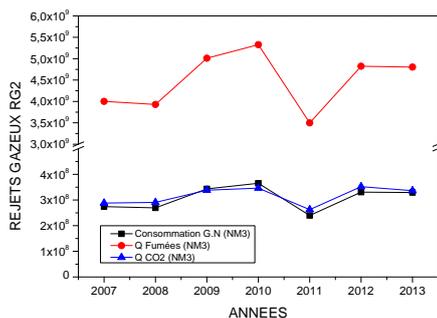


Figure IV.16 : Emissions Annuel de différent polluants pendant la période 2007-2013 de l'unité des utilités

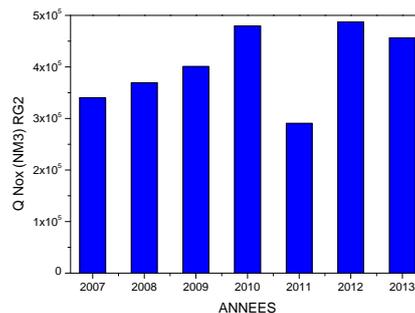


Figure IV.17 : Emissions Annuel de NO_x pendant la période de 2007-2013 de l'unité des utilités

Les mesures issues de la seconde cheminée présentent en moyenne une évolution similaire à celle obtenue sur la première cheminée pour les différents effluents fumée, CO₂ et NO_x. On peut noter une légère augmentation d'exploitation de

l'entreprise Fertial entre de 2007 à 2010 puis une diminution en 2011 pour se stabiliser les deux années suivantes 2012 et 2013. (Figures IV.16 et IV.17).

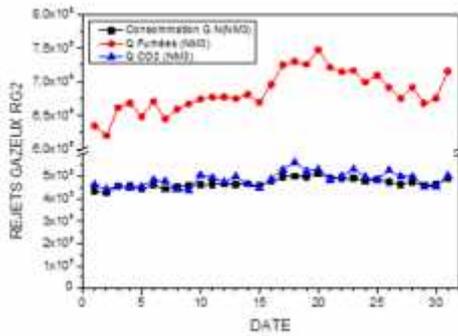


Figure IV.18 : Emissions du mois de mai 2014 de différents polluants de l'unité des utilités

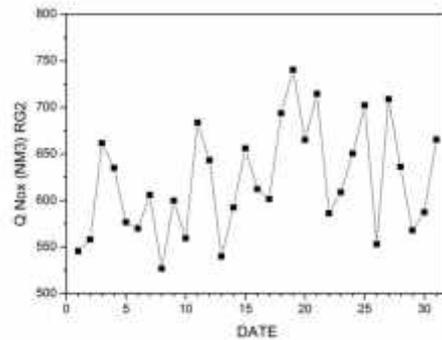


Figure IV.19 : Emissions de NOx pendant le mois de mai 2014 de l'unité des utilités

Les mesures journalières le long du mois de mai 2014, effectuées sur les effluents issus de la deuxième cheminée révèlent un fonctionnement régulier de l'entreprise Fertial le long de ce mois (Figures IV.18 et IV.19) comparativement à ceux de la première cheminée où on a observé une rupture d'activité d'environ une semaine.

2.3 Les rejets gazeux annuels RG3 de la troisième cheminée

Les figures Figure IV.20 et IV.21 montrent les courbes des mesures expérimentales des quantités d'effluents issus de la troisième cheminée pendant sept années successives.

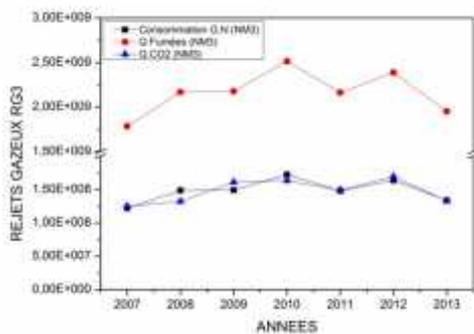


Figure IV.20 : Emissions Annuel de différents polluants pendant la période 2007-2013 de l'unité d'acide et de nitrates.

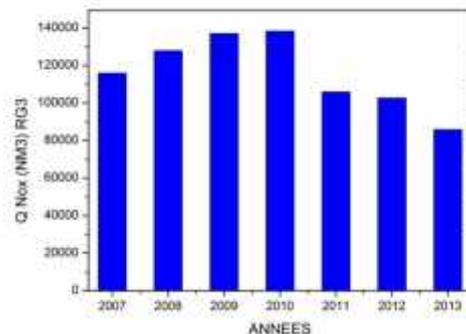


Figure IV.21 : Emissions Annuel de NOx pendant la période de 2007-2013 de l'unité d'acide et de nitrates.

Il est à noter que la quantité de gaz naturel consommée dans les différents processus dont les effluents gazeux sont évacués par la troisième cheminée est relativement plus faible que celles enregistrées dans les des deux précédents. Les courbes expérimentales mesures montrent une très forte similitude de l'allure des courbes des rejets enregistrées à la sortie de la troisième cheminée et celles des deux précédentes. Evidemment, la baisse de fonctionnement de l'entreprise Fertial engendre une baisse relative des valeurs des quantités de fumée, de CO₂ et de NO_x dégagées dans l'atmosphère, comme le montre les courbes des figure figures IV.20 et IV.21.

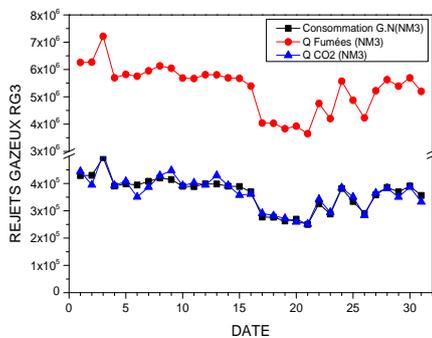


Figure IV.23 : Emissions du mois de mai 2014 de différents polluants de l'unité d'acide et de nitrates.

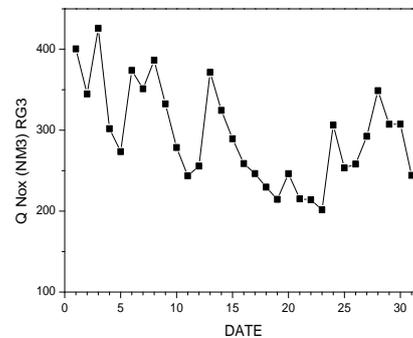


Figure IV.24 : Emissions de NO_x pendant le mois de mai 2014 de l'unité d'acide et de nitrates.

Comme le montre les deux figures IV.23 et IV.24, à l'échelle d'un mois on apprécie mieux la baisse des valeurs enregistrées dans les effluents dégagés au niveau de la troisième cheminée due principalement à la baisse de l'activité industrielle du troisième processus de Fertial.

Comme cela a été mentionné au début de cette partie sur les effluents gazeux, les mesures expérimentales qu'on vient de présenter ont été réalisées par l'équipe technique de l'entreprise Fertial et on ignore complètement dans quelles conditions et à quel niveau ces valeurs ont été prises. On s'est contenté de prendre en compte ces mesures pour faire un état des lieux globaux par rapport à la pollution atmosphérique que l'entreprise Fertial peut engendrer par son fonctionnement et compléter la partie étude expérimentale réalisée sur les effluents liquides. Ceci étant dit, rien ne nous permet d'incriminer les mesures

qu'on a pu obtenir, sauf qu'on aurait souhaité plus d'informations sur les différents processus opérant à l'intérieur de cette entreprise pour pouvoir apporter des éléments de réponses à certaines observations soulevées dans les courbes expérimentales effectuées sur les effluents liquides et gazeux dont on est incapable d'interpréter. Egalement, le manque de coopération dans cette étude d'exploration ne permet pas la mise en évidence d'éventuels dysfonctionnement dus principalement aux défaillances ou absence des systèmes de purification et ne permet pas aussi de proposer des solutions adaptés aux problèmes de pollution soulevés.

Dans l'étude des effluents gazeux, on est malheureusement dans l'incapacité d'évaluer l'impact écologique de cette entreprise à cause de l'absence de législation bien établie pour les dégagements gazeux d'un complexe industriel comme Fertial.

3 Contribution numérique à la réduction de la pollution de Fertial

Après avoir effectué un état des lieux expérimentale de l'impact écologique de l'entreprise Fertial sur l'environnement direct et la mise en évidence de certaines défaillances provoquant des rejets dépassant les normes tolérées par la législation nationale et internationale, on tente d'apporter des éléments de réponses et proposer des solutions adaptées à chacune des situations. L'outil de simulation numérique est un moyen très puissants pour réaliser des simulations numériques et la reproduction informatique des différents phénomènes physiques intervenant dans des écoulements plus ou moins complexes comme c'est le cas des dégagements liquides et gazeux de l'entreprise Fertial. Ainsi, en reproduisant numériquement les phénomènes observés réellement, En mettant l'accent sur les zones provoquant les dysfonctionnements non désirés, on peut imaginer une ou plusieurs solutions numériques au problème. Cette solution virtuelle est d'abord exécutée et testée numériquement en vérifiant que le problème est numériquement résolu, on peut se permettre de faire des propositions de solutions à réaliser expérimentalement directement sur les sites de l'entreprise. C'est cette démarche qu'on a opté pour le cas de Fertial. Cette étude s'effectuera en deux parties, la première sera consacrée aux effluents liquides et la seconde aux effluents gazeux.

3.1 Simulation numérique d'un clarificateur pour les effluents liquides

En analysant l'ensemble des mesures effectuées sur les dégagements liquides de l'entreprise Fertial directement au niveau des RL1, RL2 et RL3, il ressort des dépassements des normes législatives en vigueur. Pour des raisons d'efficacité, on tente d'apporter une solution pour le paramètre mesurant les matières en suspension MES dont les valeurs mesurées au niveau des trois canaux d'évacuation des effluents liquides dépassent d'une manière très exagérée les normes. Egalement on pense que la solution qui sera portée sur ce paramètre MES, affectera directement ou indirectement les autres paramètres.

Les valeurs du paramètre MES issues des eaux usées traitées sont nettement plus faibles que celles rejetées directement en mer. Le traitement des eaux usées est un processus qui s'effectue en plusieurs étapes pour éliminer les contaminants. La plus importante de ces étapes est celle où les grandes particules solides sont éliminées par sédimentation, flottation et filtration en obtenant des floccs ou des boues d'une part et une eau usée faiblement chargée en matières en suspension d'autre part. La présente investigation étudie la séparation des floccs de l'eau dans un décanteur circulaire utilisés dans des systèmes de traitement des eaux usées. On représente dans la figure IV.25 Le schéma représentatif de la section longitudinale de la structure d'un décanteur circulaire.

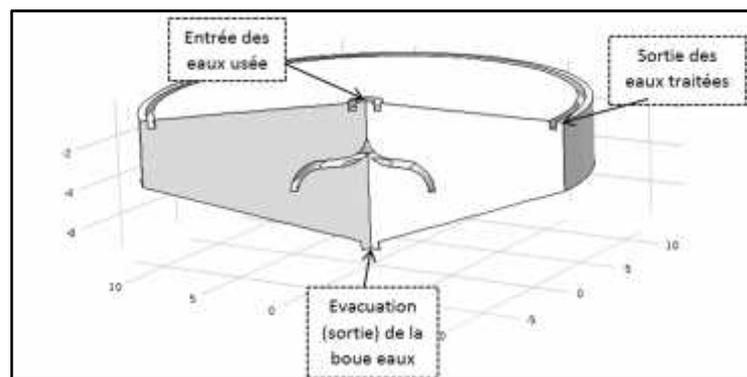


Figure IV.25 : Schéma représentant coupe longitudinale des 2/3 d'un clarificateur circulaire.

Les rejets liquides de l'entreprise Fertial arrivent via un canal déversant à l'entrée du clarificateur au niveau central du clarificateur. Les eaux traitées sortent par ses extrémités en laissant décanter au fond du clarificateur les matières en

suspensions. Ces dernières sortent par le bas du clarificateur sous l'effet de la pesanteur pour les évacuer vers des sites dédiés ou également pour une revalorisation adaptée. Pour accentuer le phénomène de décantation une paroi en « S » est prévue au centre du clarificateur pour éviter que le jet d'eau usée arrivant par l'entrée re-mélange les boues déjà décantées au fond du clarificateur.

Pour une exploitation numérique du clarificateur on a choisi le code de calcul Comsol Multiphysics adapté à l'étude de phénomènes similaires à ceux qui décrivent le fonctionnement du système de purification. Comme toute simulation numérique, le système doit être discrétisé en petites régions élémentaires représentatives de l'état physique d'un élément de volume. Le clarificateur en question présente une symétrie axiale ce qui nous permet de réduire le nombre d'opérations de calculs en se contentant de la moitié du système en 2D, comme représenté sur la figure IV.26. La première figure montre le schéma axisymétrique de la moitié du clarificateur en 2D et la seconde son maillage en cellules triangulaires.

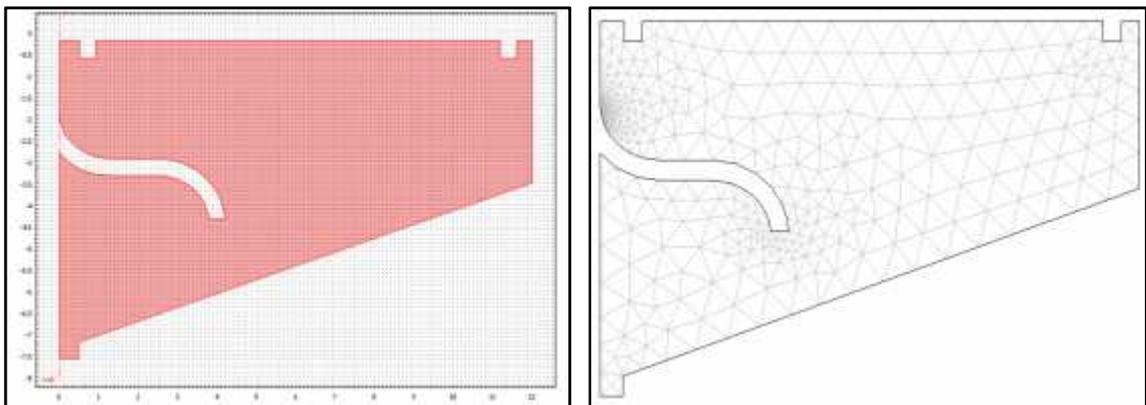


Figure IV.26 : *Représentation du schéma de la géométrie axisymétrique ainsi que son maillage en triangulaire*

Une fois la géométrie de notre système clarificateur en question est définie puis maillée, on fixe les conditions aux limites de fonctionnement du système. Après avoir fixé la concentration massique initiale des eaux usées en boues à 0.003 Kg/m^3 , on introduit la vitesse d'entrée des eaux usées à 1.25 m/s puis on fixe la pression à la sortie des eaux traitées à la pression atmosphérique. Puis on choisit le type d'écoulement le plus représentatif de ce qui se passe à l'intérieur du

clarificateur circulaire et on a opté dans notre cas pour un écoulement de type turbulent $k-\varepsilon$ multiphasique. Après exécution du code calcul Comsol Multiphysics sur notre système qui consiste en la résolution de l'ensemble des équations régissant le décanteur numérique et après vérification des courbes de convergence qui renseignent sur la fiabilité des résultats on récupère les solutions obtenues sous différentes formes. Pour mettre en évidence l'aspect séparation de phases dans le décanteur sous l'effet de la pesanteur, on représente les concentrations massiques de l'eau usée en Kg/m^3 dans le bassin supposé diphasique comme le montre la figure IV.27 pendant la période de décantation qui dure environ 12 heures. On peut également obtenir à partir des solutions d'autres informations sur d'autres paramètres physiques comme par exemple les lignes de vitesses, les lignes de courant de l'écoulement, ..etc.

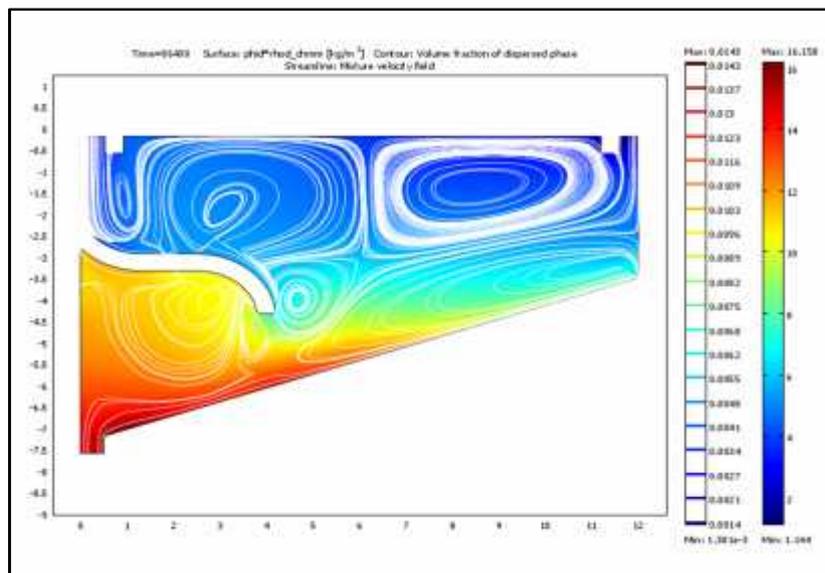


Figure IV.27 : Lignes de courant et concentration de la phase solide au cours de la décantation.

Les résultats des simulations numériques montrent très clairement l'efficacité du clarificateur qui force sous l'effet de la pesanteur les particules solides de se mettre au fond du bassin en laissant en surface l'eau relativement allégée en effluents solides. Egalement, on confirme ce qui a été signalé précédemment sur l'importance de la paroi introduite dans le clarificateur, où on observe son impact sur le rendement du dispositif en empêchant les eaux plus claires de rentrer en contact avec les boues amassées en profondeur. Selon les besoins, on peut obtenir plus de détails sur une ou plusieurs régions particulières du décanteur afin

d'améliorer et d'optimiser par la suite le système numérique. Une fois l'efficacité du système de décantation est prouvée numériquement puis optimisée on peut se permettre d'envisager le passage à sa réalisation pratique.

3.2 Simulation numérique d'une cheminée coudée pour les effluents gazeux

Pour les effluents gazeux, notre objectif consiste à modéliser la diffusion des polluants industriels émis par une cheminée coudée de hauteur $H = 30$ m et de diamètre $D = 1$ m sur un site de taille $1500 \times 600 \times 300$ m schématisé par la figure IV.28. On pense que cette configuration réduira considérablement la distance de l'impact de pollution de la cheminée. Dans ce site on ne considère pas les reliefs ni les obstacles. On va analyser la dispersion du polluant en tenant compte les conditions les plus défavorables dans un domaine d'étude parallélépipédique telles que ses dimensions sont les suivantes :

- Longueur du domaine d'étude $L = 1500$ m
- Hauteur du domaine d'étude $H = 300$ m
- Largeur du domaine $l = 600$ m
- Diamètre de la Cheminée = 1 m
- Hauteur de la Cheminée = 30 m
- Longueur de la sortie de la cheminée après le coude = 2 m

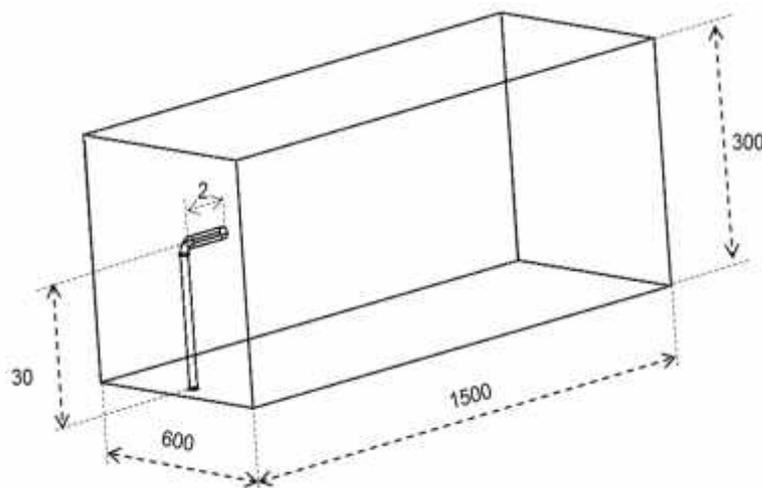


Figure IV.28 : Représentation cartésienne du domaine d'étude

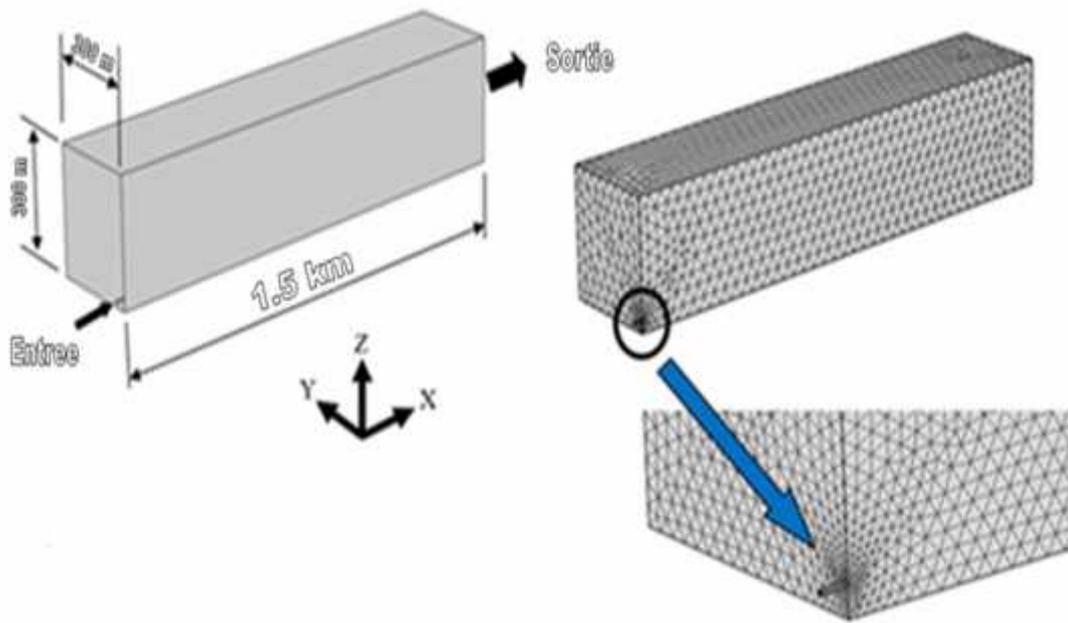


Figure IV.29 : Géométrie globale et dimensions et maillage du domaine de calcul, la flèche montre la position de la cheminée coudée dans le domaine de calcul

Pour une meilleure étude de notre système de cheminée coudée, on a préféré une représentation 3D du domaine d'étude sous le code calcul Ansys CFX Version 10. Comme notre système présente une symétrie axiale, on se contentera d'étudier seulement la moitié du domaine choisi comme représenté dans la figure IV.29. On considère que l'entrée de l'écoulement d'air s'effectue au niveau de la cheminée ($x = 0$) et sa sortie est dirigée vers les x positifs après $x = 1500$ m de distance de la cheminée coudée. L'étape suivante consiste à mailler le domaine volumique par des cellules triangulaires tout en affinant le maillage au voisinage de la sortie de la cheminée coudée. On a choisi le modèle d'écoulement turbulent de type k-e. Puis on fixe les conditions initiales et aux limites au niveau de chaque section entourant le domaine de calcul et les valeurs sont mentionnées dans la figure IV. 30

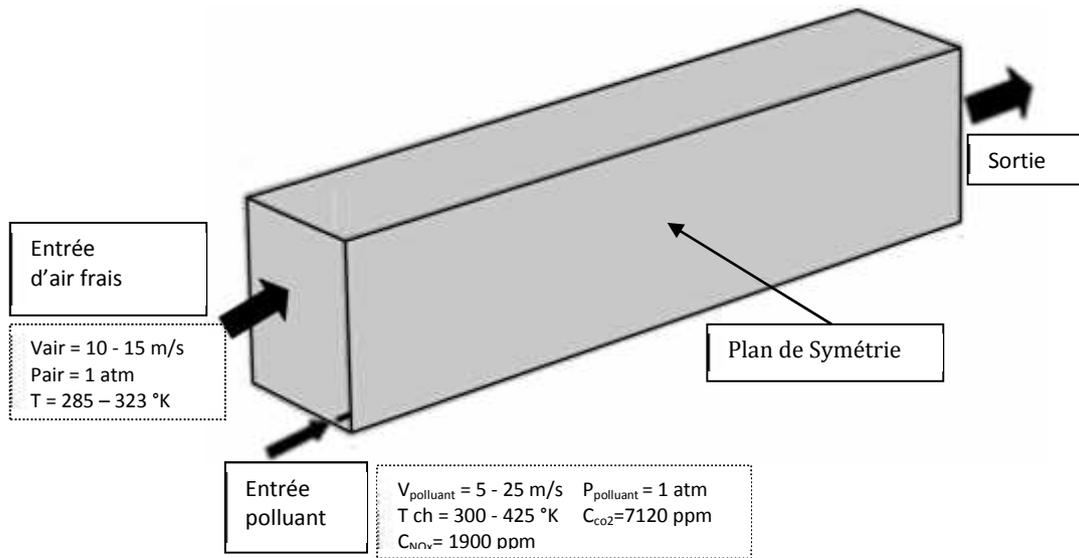


Figure IV.30 : Schéma détaillant les conditions aux limites de fonctionnement de notre système numérique

Du fait que les solutions de la simulation numérique ne sont que des approximations, l'analyse de la qualité du maillage ainsi que son influence sur les résultats est un point fondamental qui mérite une attention particulière. Théoriquement, les erreurs liées au maillage doivent disparaître pour des mailles de plus en plus fines, jusqu'à atteindre asymptotiquement des valeurs indépendantes de la taille des mailles. Ainsi, pour analyser la qualité du maillage et son influence sur la solution, quatre maillages ont été proposé et testés dans le cas de la dispersion du polluants gazeux se propageant dans le domaine choisi. Les nombres d'éléments choisis formant chacun des quatre maillages sont récapitulés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Nombre d'éléments choisi pour chacun des quatre maillages

Type de maillage	Nombre de mailles
1	3324723
2	3752382
3	4520535
4	4987527

Bien que l'augmentation des nombres d'éléments produit des résultats de meilleure qualité, il est recommandé dans l'analyse numérique d'optimiser le

temps de calcul ainsi que la taille des fichiers de données d'analyse. Pour cela on évalue les valeurs des erreurs des différents maillages et on compare le nombre d'itérations nécessaires pour atteindre une précision donnée comme dans notre cas est fixée à 10^{-4} d'une part, d'autre part, on choisit celui qui utilise le moins d'itérations. D'après la figure IV.31, il apparaît que le meilleur maillage est le maillage 4, celui qui contient le plus de mailles des quatre choisis. On opte donc dans la suite de ce travail pour le maillage 4.

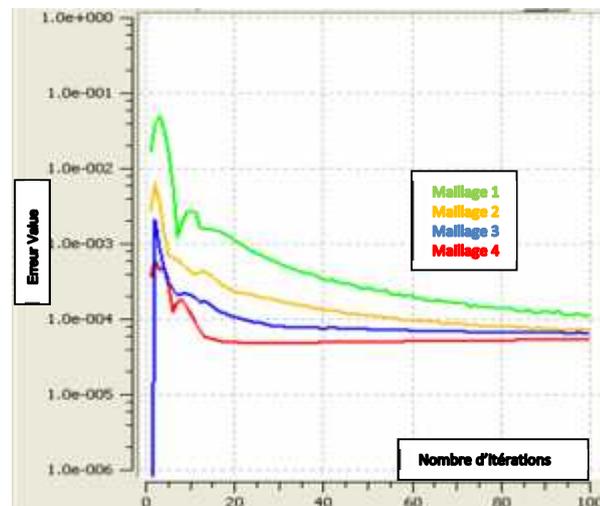


Figure IV.31 : *Courbes de convergence des calculs pour les quatre maillages choisis*

Il est bon de noter que le temps nécessaire pour la convergence c'est-à-dire pour arriver à un résidu moyen de 10^{-4} , augmente avec l'augmentation du nombre d'éléments de la grille de calcul (tableau IV.1).

L'étude de la pollution atmosphérique consiste principalement à déterminer aussi l'évolution de la concentration des différents polluants. Ces évolutions sont caractérisées à partir de la sortie de la cheminée à un certain débit et dispersés dans l'atmosphère sur une distance de 0 et 1500 m selon les trois directions X, Y et Z. Les polluants concernés par la caractérisation sont principalement les NO_x et le CO₂. La solution aux problèmes de la pollution atmosphérique repose tout d'abord sur la connaissance de la nature et de la concentration des différents polluants. Les pollutions à l'émission sont généralement connues et sont présents à des teneurs relativement élevées. Dans nos simulations numériques on tente de montrer que par un simple choix judicieux de la cheminer permet de contrôler et de réduire par

la suite le taux de pollution gazeuse. Par exemple, on propose tout simplement de couder la sortie de la cheminée à différents angles 90° , 105° puis à 120° . Les résultats obtenus des simulations numériques de la dispersion du CO_2 pour les trois configurations de cheminées coudées, sont représentées sur les figures IV.32, IV.33 et IV.34. Elles représentent les contours des concentrations relatives des polluants en CO_2 montrant des panaches du polluant de CO_2 dont la forme dépend de l'angle du coude choisi. Il apparaît très claire que pour un angle de 90° et de 105° les effluents gazeux sont tout simplement dirigés horizontalement au lieu que cela ne soit vertical comme dans le cas classique. Sur le plan pollution, ces deux angles peuvent s'avérer plus dangereux, du moment que le lobe principal est unidirectionnel et peuvent étouffer toute une agglomération voisine ou même lointaine. Par contre le coude de 120° force le polluant à percuter le sol après une distance allant de 400 à 500 mètres de la source. Si on est dans les conditions d'absence de vent cette distance est considérablement réduite. Pour le cas de Fertial si cette solution est envisagée les polluants seront envoyés directement dans la mer et n'atteindront pas les agglomérations avoisinantes. Surtout que les vents sont souvent dans la direction d'ouest à l'est.

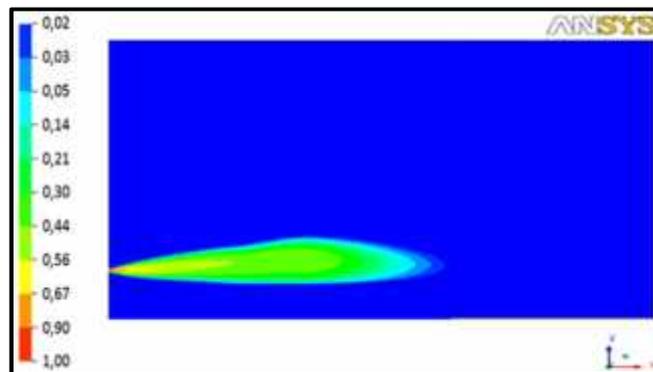


Figure IV.32 : Contours de concentration de CO_2 pour un angle d'incidence de 90°

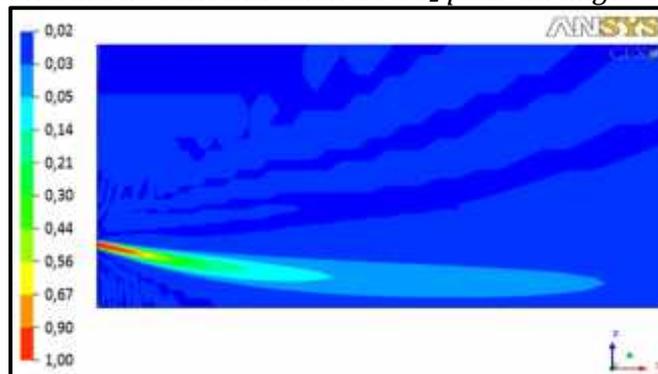


Figure IV.33 : Contours de concentration de CO_2 pour un angle d'incidence de 105°

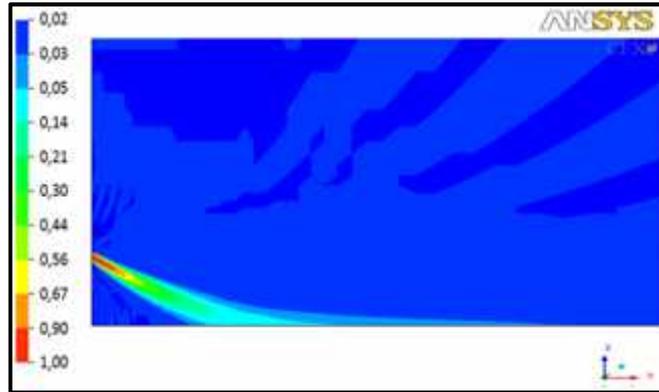


Figure IV.34 : Contours de concentration de CO_2 pour un angle d'incidence de 120°

Les résultats des figures précédentes ne dépendent pas du type de polluant, pour cela que pour le NO_x , l'angle de la cheminée coudée doit être de 120° . Les résultats des contours de concentration en NO_x de la figure IV.35 montrent une diminution brusque de la concentration en NO_x , dépassant les 50% au cœur du panache, après 150 m de la source de pollution.

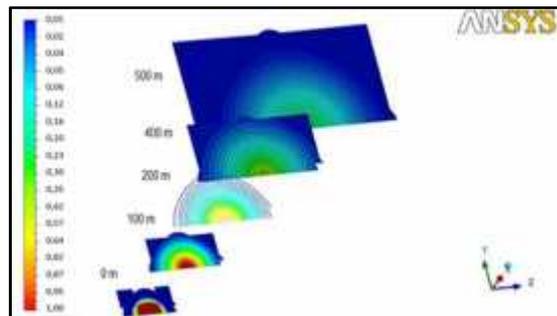


Figure IV.35 : Représentation des Iso-concentration relative du polluant NO_x suivant des plans parallèles perpendiculaires à la direction de propagation des effluents suivant (Y-Z)

Pour analyser la variation de la concentration en fonction de la distance de propagation longitudinale, on utilise la concentration relative (C/C_0) pour les deux polluants étudiés, le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote. Pour une étude détaillée du profil de la concentration du polluant (C/C_0), en fonction de la position longitudinale x et transversale y on a tracé les figure IV.36 et IV37.

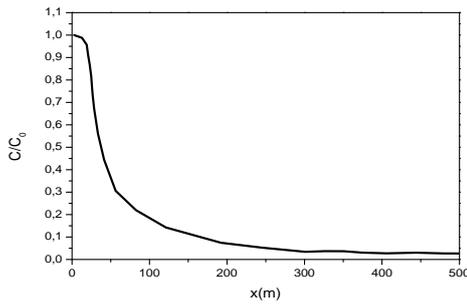


Figure IV.36 : Profil de la fraction de concentration de CO_2 dispersés suivant la direction X

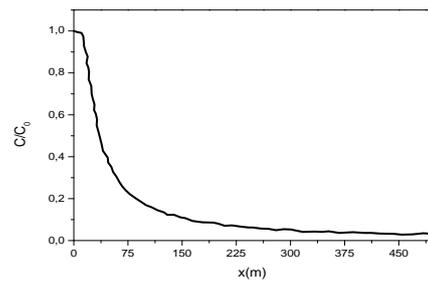


Figure IV.37 : Profil de la fraction de concentration de NO_x dispersés suivant la direction X

Il y a lieu de noter que la variation de la concentration est très importante à la sortie de la cheminée pour les deux types de polluants jusqu'à une distance $x \leq 500$ m, (figures IV.36 et IV.37), les deux profils présentent une forme gaussienne caractéristique de la dissipation des polluants. Les figures IV.38 et IV.39 montrent les dispersions latérales de CO_2 et de NO_x pour différentes distances. Ces figures montrent que ces dispersions augmentent en s'éloignant de la source de pollution. Les concentrations des polluants de NO_x et de CO_2 sont très inférieures à 10% sur une distance de 100 m de la source dans la direction latéral.

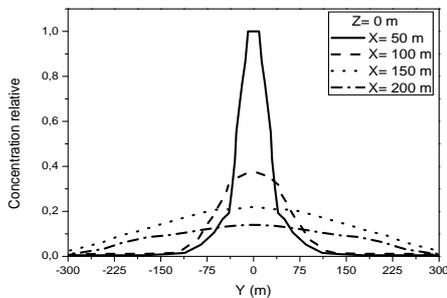


Figure IV.38 Dispersion de CO_2 à différentes distances X .

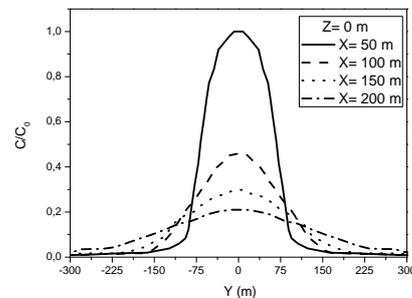


Figure IV.39 Dispersion de NO_x à différentes distances X .

En comparant les dispersions latérales des deux polluants dans les mêmes conditions de propagation, il s'avère une différence dans la largeur des deux gaussiennes, ce qui traduit l'effet de la pesanteur sur le type de molécule dans le panache, du moment que la molécule de NO_x a tendance à rester un peu plus longtemps en suspension dans l'air que la molécule de CO_2 .

On a également voulu suivre l'évolution de la température des effluents gazeux dégagés par les cheminées et on a obtenu la courbe de la figure IV.40 qui

représente la variation de la température des fumées le long de la distance de propagation. Cette courbe est également représentée sous formes de contours de température à deux dimensions comme le montre la figure la figure IV.41.

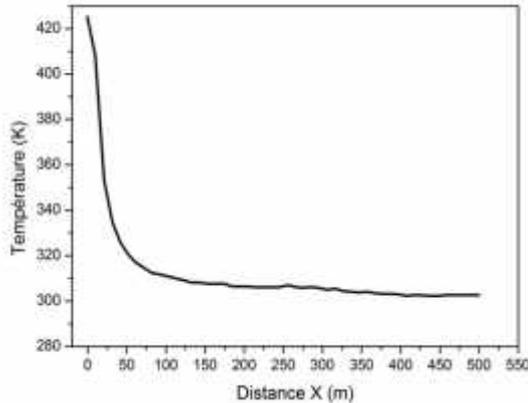


Figure IV.40 : Profil de température du fumé polluant selon la direction X

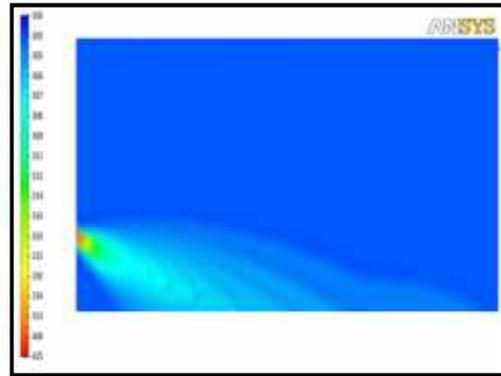


Figure IV.41: Contours de température du fumé polluant selon la direction

La courbe de température montre une chute très rapide de la température des gaz dégagés par la cheminée, elle passe de 425 °K à la sortie de la cheminée pour atteindre la température ambiante après avoir parcouru une distance moyenne de 200 m environ.

On remarque dans les figures V.24 que les contours de température de la fumée polluante décroît rapidement de 425 K° à la température ambiante 300K° le long de la distance x en s'éloignant de la source d'émission.

En changeant la vitesse de sortie des gaz au niveau des cheminées de 5 m/s à 25 m/s, on a tracé les courbes de vitesses des polluants en fonction de la distance de propagation représentées dans la figure IV.42.

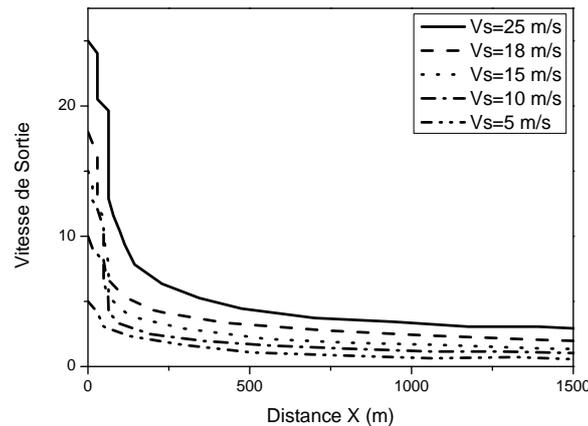


Figure IV.42 : Profil de la vitesse de la fumée pour différentes vitesses de sortie

Les courbes de vitesse de la figure IV.42 montrent que la vitesse des particules sortantes des cheminées chute très rapidement au bout de 200 m de distance pour atteindre des vitesses inférieures à 5 m/s. Le profil de vitesse s'étant à être stable et ne dépasse pas 2 m/s pour différentes valeurs de vitesse de sortie cela est dû à l'angle d'orientation du coude de la cheminée.

3.3 Evaluation de l'impact des rejets atmosphériques

L'analyse des résultats des simulations montre que l'effet des conditions d'éjections est une fonction remarquable sur la propagation des particules des deux polluants étudiés dans l'atmosphère en absence de toute circulation de vent. En effet, l'ascension des polluants CO_2 et NO_x présente un écoulement symétrique et la variation de la concentration est très importante à la sortie de la cheminée jusqu'à une distance de $x \leq 500$ m.

Donc, tout problème de diffusion impose le concept de couche limite qui demeure délimité par le milieu entourant la source de diffusion dont l'épaisseur est dépendante du régime d'advection occasionné par l'écoulement extérieur. Par ailleurs, au-delà de cette distance, le profil tend vers une allure linéaire.

Conclusion générale

La pollution marine par les eaux usées représente un sérieux problème en Mer Méditerranée. Les pays la délimitant rejettent la plus grande partie de leurs effluents liquides que cela soit issus des eaux d'assainissement des villes ou les rejets issus de l'industrie sans aucun traitement préalable et l'Algérie en fait partie. A côté de la pollution maritime il est généralement associé une pollution atmosphérique provoquée par les différents dégagements gazeux des fumées riches en CO₂ et NO_x.

La non prévision de filtres à air au niveau des cheminées d'évacuations ou encore leur défaillance ainsi que l'absence des stations et des systèmes d'épuration des eaux usées juste avant l'évacuation des effluents liquides vers la mer, provoque la dégradation de la qualité sanitaire globale de l'air et des eaux côtières. Ceci provoque d'importantes perturbations des écosystèmes.

Ce travail de recherche et d'exploration scientifique porte sur une évaluation de l'impact écologique de la pollution atmosphérique et marine causée par les différents effluents rejetés dans la nature par la société Fertial-Arzew qui produit des fertilisants destinés pour l'agriculture. Les dégagements de cette société sont sous forme de gaz torchés dans l'atmosphère et d'eaux usées industrielles rejetées directement dans la mer. Malgré qu'elle possède le certificat ISO-14001 qui analyse le cycle de vie d'un produit, les résultats des mesures des paramètres indicateurs de pollution des rejets de cette entreprise révèlent que les sites étudiés sont plus au moins pollués par les eaux usées rejetées. Globalement, l'ensemble des indicateurs mesurés sont au-dessous des normes internationales en vigueur à ne pas dépasser, mis à part, le paramètre des matières en suspension le MES, qui a révélé d'importantes valeurs dépassant les normes au niveau des trois collecteurs des effluents liquides RL1.RL2 et RL3. Toutefois, une contamination prolongée des eaux de mer avec ces valeurs élevées de MES atteignant 260 mg/L dégradera l'écosystème marin et nuira à la faune et à la flore marine existante. Il est à noter que le troisième processus de l'entreprise Fertial-Arzew de production de l'ammonium, divise ses déchets liquides dans le troisième canal RL3 duquel des

défaillances sont également révélées par les mesures inquiétantes des températures, du pH, des concentrations d'azote total et d'ammonium.

De l'ensemble des défaillances mises en évidence dans cette campagne d'exploration, nos axes de compétences nous permettent de proposer des solutions que pour les dépassements de normes enregistrés au niveau des deux paramètres MES et température. Par contre, les autres paramètres sont plutôt du domaine de la chimie minérale.

Les mesures de MES montrent la nécessité d'un traitement préalable des eaux usées brutes avant de les envoyer dans la mer et améliorer leur qualité selon les normes requises et protéger l'environnement et la santé humaine. Afin d'y remédier, on a proposé un système de traitement des eaux usées appelé « clarificateur » ou encore « décanteur » qui permet une réduction considérable des valeurs de MES. Les valeurs trouvées par simulation numérique sous le code de calcul Comsol multiphysics, montrent très clairement l'amélioration de la qualité des eaux traitées de ceux qui ne le sont pas. Le clarificateur sépare les impuretés en suspension de l'eau propre. Cette dernière est envoyée vers la mer via la sortie périphérique et on récupère à la sortie du fond du système d'épuration les sédiments sous forme de boues. Ainsi, ces boues sont empêchées d'aller souiller l'eau de mer et pourront être revalorisées par la suite. Notre système ainsi conçu réduit la quantité de matière en suspension jusqu'à 60 %. On peut réduire d'avantage la pollution côtière en déversant les effluents liquides au large de la mer. Le fait que les eaux souillées sont retenues dans le bac du clarificateur pendant 12 heures environ, avant de les envoyer dans la mer, temps nécessaire à la décantation, on résout simultanément le problème de la température élevée.

Concernant la pollution atmosphérique de l'entreprise Fertial-Arzew, on a pu seulement obtenir les résultats des mesures des paramètres de fumée, de CO₂ et de NO_x effectuées par les services techniques de l'entreprise, contrairement, aux mesures effectuées sur les effluents liquides, les prélèvements et les mesures ont été menées et évaluées par nous-même. Ceci peut s'expliquer principalement par les dangers que peut présenter une telle intervention au niveau des cheminées pour effectuer des prélèvements. L'absence de normes nationales ou internationales sur les mesures des effluents gazeux dégagés, rend impossible l'évaluation écologique des dégagements gazeux de Fertial-Arzew. Néanmoins,

les dégagements gazeux dans l'atmosphère ainsi conçus envoient les particules polluantes en suspension dans l'air à des distances très grandes effectuant parfois plusieurs fois le tour du monde. Afin de limiter l'impact de ces particules et proposer une solution très économique, devant l'ajout de filtres, on préconise des cheminées à extrémités coudées pour rediriger les panaches gazeux vers le sol juste au voisinage de la cheminée et piéger ainsi les polluants gazeux. Pour ce faire, on a eu recours à la simulation numérique en utilisant le code de calcul Ansys-CFX pour la modélisation des effets aérodynamiques des effluents gazeux. En se basant sur la méthode des volumes finis pour discrétiser les équations mathématiques, nous avons pu déterminer les champs des vitesses et des concentrations ainsi que les variations verticales et horizontales de ces dernières. Pour analyser la dispersion des polluants gazeux, en utilisant le modèle de turbulence k- ϵ . Le modèle a été alors appliqué pour étudier les effets de la concentration de pollution, vitesse et direction de sortie en fixant l'intensité du vent latéral sur la dispersion. L'angle de sortie des gaz de la cheminée coudée a une influence plus forte sur la dispersion du polluant. Un angle de 120° donne une meilleure dispersion des polluants. Les résultats de simulation montrent que pour un angle de 120° on peut ajuster la vitesse de sortie des gaz en fonction de la vitesse du vent pour ramener les polluants au niveau du sol. Les courbes de concentrations de CO₂ et de NO_x en fonction de la distance latérale (la distance perpendiculaire à la direction de propagation) révèle que le NO_x le plus nocif à la santé humaine et à l'environnement que le CO₂ reste en suspension plus longtemps, argument supplémentaire de l'usage de cheminées coudées dans les évacuations d'effluents gazeux des entreprises polluantes.

- Abdullah MD.P. (1997). Hydrocarbon pollution in the sediment of some Malaysian coastal areas. *Environmental Monitoring and Assessment* 44, 443-454.
- Adamo R., DI Stasio M. et Fabbrochini A. (2008). Migratory crustaceans as biomonitors of metal pollution in their nursery areas. The Lesina lagoon (SE Italy) as a case study. *Environmental monitoring and assessment* 143, 15-24.
- Aminot A. et Chausse-pied M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition : CNEXO, Brest, France, 395 P.
- Angélique GUILLOTEAU, (2007). Etude multiphasique de polluants organiques aromatiques : répartition des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans les suies et formation d'aérosols dans l'ozonolyse du catéchol. Thèse de doctorat en Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement à l'université d'Orléans de France.
- B.E Launder. & Spalding D.B.(1974). The numerical computation of turbulent flows - Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering-. Vol. 3 - pp. 269-289
- Berg D.M., Raven P.H. et HASSENZAHN D.M. (2009). Environnement. de boeck, 6ème édition ; p : 554-569.
- Berne F., et Cordonnier J. (1991). Traitement des eaux : Epuration des eaux résiduaires de raffinage. Conditionnement des eaux de réfrigération. (TECHNIP, Eds.) 306p.
- Bersillan J.L (1978). Quelques formes polycationiques d'aluminium Jour - François d'hydro 2 p91-102 .
- Boening D.W. (1999). An evaluation of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters. *Environmental monitoring and assessment* 55, 459-470.
- Bolduc J.P., Lateb M. (2008). Dispersion des polluants atmosphériques. France
- Boutiba Z. (1992). Les mammifères marins d'Algérie : statut, répartition, biologie et écologie. Thèse Doctorat d'Etat. Université d'Oran, 512p.
- Burger J. (2006). Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental bioindicators* 1, 136-144.
- Chassing P., (2000). Turbulence en mécanique des fluids: Analyse du phénomène en vue de sa modélisation à l'usage de l'ingénieur. Toulouse.
- Chevalier A., (2007). Développement de service d'observations de PAES : pollution atmosphérique à l'échelle synoptique bilan de l'ozone dans la troposphère libre. Thèse de doctorat à l'université Paul Sabatier - Toulouse III --HAL - CCSD--2007-12-04 France.
- Corrim, (2001). Consortium For Research On Renewable Industrial Materials (CORRIM). Research guidelines for life cycle inventories. On file University of Washington, Seattle, WA. [47 pp.].
- Daby D. (2006). Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and soil pollution* 174, 63-91.
- Debry E., (2005). Modélisation et simulation numérique de la dynamique des aérosols atmosphériques. Thèse de doctorat, Paristech ENPC.

- Demaël E., (2007). Modélisation de la dispersion atmosphérique en milieu complexe et incertitudes associées. PhD Thesis, 273 pp.
- Eckenfelder W.W. (1982). Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : Caractérisation, techniques d'épuration et aspects économiques. Paris : Lavoisier-Tec et doc.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association). (2000). Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Ammonium Nitrate and Calcium Ammonium Nitrate, Booklet No. 6, Brussels, Belgium.
- Espinosa F., GUERRA-GARCIA J.M. et GARCIA-GOMEZ J.C. (2007). Sewage pollution and extinction risk : an endangered limpet as bioindicator? *Biodiversity and conservation* 16, 377-397.
- Fessinger F. AND Bersillon J.L (1977). Pré-polymérisation de l'hydroxyde d'aluminium pour la coagulation des eaux toilrine du cebedeau 399 p 52-68
- G.I.S Posidonie. (1996). Groupement d'Internet Scientifique d'études et de protection de l'environnement marin. Biologie méditerranéenne, nuisance et pollution.
- Gagné M. (2006). Etude de sensibilité du climat de la baie d'Hudson à l'effet indirect de la rétroaction déshydratation -effet de serre durant la période hivernale. mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science de l'atmosphère à l'université du Québec à Montréal, France
- Gesamp. (1989). (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). The atmospheric input of trace species to the world oceans. Rep. Stud. GESAMP, (38):111p.
- Ghodbani T. (2001). Extension urbanistique dans le littoral d'Oran et ses effets sur l'environnement. Thèse de Magister. Université d'Oran. Département de géologie et de l'aménagement du territoire. 387p.
- Gilbert P, Thornley P, (2010). Energy and carbon balance of ammonia production from biomass gasification, Bio-ten., Holiday Inn, Birmingham, Sep 21-23
- Graïne H , Toumi K, Roullier V, Capeau J, Lefèvre G, (2009), Interference of ethylene glycol on lactate assays
- Goger & coll., (2006). GOGER T., MARANDA K. & KARKALIS A. Indicators for SEA of traffic and transport infrastructure. COST 350 International Conference: Integrated assessment of environmental impact of traffic and transport infrastructure. 30 June, (Poland) W. COST 2006a. 8p.
- Gravez V. et Bernard G. (2006). Pollution marine : Les définitions. www.com.univ-mrs.fr.
- Guilloteau A. (2007). Etude multiphasique de polluants organiques aromatiques : répartition des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans les suies et formation d'aérosols dans l'ozonolyse du catéchol. Thèse de doctorat en Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement à l'université d'Orléans de France.

- Gupsa D.K, Chatterjee S, Datta V, Walther C. (2014). Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. *Chemosphere*: 108: 134-144.
- Harrison RM. (2001). *Pollution: causes, effects and control*. 4th ed. Cambridge, Great Britain: Royal Society of Chemistry.
- IEA (International Energy Agency). (2007). *Tracking industrial energy efficiency and CO2 emissions*. p. 324.
- IFA, International Fertilizer Industry Association (IFA). (2011). Heffer P, Prud'homme M. *Fertilizer Outlook 2011 – 2015*. 79th IFA Annual Conference Montreal (Canada), 23-25 May 2011.
- IPPC, (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilisers.. BREF 08.07. Integrated Pollution Prevention and Control, under the European Commission.
- Ivanoff A. (1972). *Paramètres physico-chimiques des eaux de mer*. Edit Librairie Vuibert. Tome I. 208p.
- Jean-Philippe Bolduc et Mohamed Lateb, (2008). *Dispersion des polluants atmosphériques*. France
- Kadem L, Dumesnil JG, Rieu R, Durand LG, Garcia D, Pibarot P. (2005). Impact of systemic hypertension on the assessment of aortic stenosis.
- Kaiser J. (2001). *Bioindicators and biomarkers of environmental pollution and risk assessment*. Enfield: Sciences publishers inc.
- Karim MOUAICI. 2008. *Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia*. Mémoire de master en Physique, l'université de Bejaia
- Kennedy D.J, Montgomery D.C, Quay B.H. (1996). Data quality- stochastic environmental life cycle assessment modeling. *International Journal of life cycle assessment*.: 1(4):199-207.
- Kerfouf A. et REMILI S. (2013). Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien) ; *Physio-Géo [En ligne]*, Vol. 7/2013.
- Kolmogorov A.N. , (1942), Equation of turbulent motion of an incompressible Turbulent fluid, *Izv. Ser. Phys. VI*, n° 1-2, 56.
- Lacaze J.C. (1996). *La pollution des mers*. Edition: DOMINOS Flammarion, France, 128p.
- Lacour S., (2004). *Pollution atmosphérique*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique. 6-8 Avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, 77455 Champs sur Marne.
- M. Pierre, R. Texier-Picard March, (2000). Existence de solutions pour un modèle de dispersion de polluants dans l'atmosphère. *SIAM Rev.* 42 (2000) 93–106
- Mallet V. (2010). *Introduction aux modèles de chimie-transport pour la qualité de l'air*. Lecture notes. Master 2 AQA-SGE, 2007-2008 France.

- Mertes L.A.K., Smith M.O. et Adams J.B. (1993). Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, vol. 43, no 3, p. 281-301.
- Mouchel J-M et Thevenot D. (2003). Support de cours d'Eco-toxicologie du CEREV. Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville environnement.
- N. Diaf, M Bouchaour, L. Merad et B. Benyoucef (2003). Paramètres Influençant la Dispersion des Polluants Gazeux. Laboratoire De Matériaux & Energies Renouvelables. Facultés Des Sciences, Université De Tlemcen Rev. Energ. Ren.: ICPWE 139-142.
- Patankar S.V. & Spalding D.B. (1972). " A calculation procedure for heat, mass and Momentum transfer in three dimensional parabolic flows " - *Int. J. Heat Mass Transfer* -Vol. 15-pp. 1787-1806.
- Pierre M., Texier-Picard March R. (2000). Existence de solutions pour un modèle de dispersion de polluants dans l'atmosphère. *SIAM Rev.* 42 (2000) 93-106
- RNB. (1999). Réseau National de Bassin. Les micropolluants dans les cours d'eau français, 3 années d'observations (1995 à 1997). Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et les agences de l'eau. France.
- Rodier J. (1996). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Paris: Dunod ; 8e édition.
- Rodier J. (1997). *L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer)* 8ème édition, Paris, 1384 P.
- Rouane-hacene O. (2013). Bio-surveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse Doct. Département de Biologie, Univ. Oran. 249p.
- SAIC, Scientific Applications International Corporation (SAIC) (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268.
- Sampic J. (2005). *Evolution de la qualité de l'air en France Lyon*, CERTU, 2005.- 50 p. France.
- Siron R., DEL R.M., LOO M. et GIUSTI G. (1986). Formation et évolution de fractions pétrolières solubles dans l'eau, lors de tests de phytotoxicité .C.R.A Acad.Sc.t.303, Série III, N°16, Paris, pp.661-664.
- Siung-chang A. (1997). A review of marine pollution issues in the Caribbean. *Environmental Geochemistry and health* 19, 45-55.
- Srogi K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. *Environmental Chemistry Letters* 5, 169-195.

- Taghezout Fatima (2015). Impact Environnemental Des Rejets D'eau Le Long Du Littoral Occidental Algérien, mémoire de magister, Université d'Oran. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biologie. 170p
- Ung, Anthony, (2005). Une cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain a l'aide de données multi sources. thèse de doctorale: ED 129 l'université d'ÎLE de France.
- UNIFA, (2001). Union des industries de la fertilisation (UNIFA). Mise sur le marché des engrais..
- Versteeg H.K., W.Malalasekera, (1995). An introduction to computational fluid dynamics—the finite volume method. Longman Scientific and Technical, New York.
- Vincent M. (2006). Etude d'expertise en Aquaculture-Environnement-Pêche Pollution. Saint-Maximin – France
- Vivien Mallet (2010). Introduction aux modèles de chimie-transport pour la qualité de l'air. Lecture notes. Master 2 AQA-SGE, 2007-2008 France.
- Zeghdoudi E. (2006). Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes. Application aux petits pélagiques de la baie de Bousmail.
- Zerouali.D. (2000). Traitement des eaux résiduaires. Centre interentreprises de formation industrielle, séminaire juin

RESUME

L'évaluation environnementale des effluents industriels générés par le complexe de fabrique d'engrais minéraux, Fertial (ARZEW) constitue l'objectif principal de cette étude. Ce complexe déverse dans le littoral marin ses effluents liquides chargés en polluants organiques et minéraux sans traitement adéquat. Il contribue aussi par ses activités industrielles à la contamination de l'atmosphère urbain de la ville par des rejets de gaz très chargés en ammoniac et particules fines. Une estimation et un suivi permanent du degré de pollution engendrée par cette industrie sont impératifs conformément à la législation nationale (et internationale) relative à la protection de l'environnement. Ce suivi permettrait d'établir un outil de réflexion et d'aide à la décision élaboré par un système de management capable d'assurer une gestion efficace et durable des effluents issus des activités industrielles de Fertial.

Mots clés : Effluents industriels, Evaluation environnementale, Norme de rejet, Pollution atmosphérique.

Abstract

In the current context of the policy of the protection of marine and coastal risk prediction of pollution. Industrial development in Algeria has made this worrying situation for all socio-economic stakeholders. Indeed, this economic growth is marked in recent years by the establishment of factories and industrial plants that discharge liquid waste in marine shorelines.

These releases could destabilize the environmental balance in the coming years, hence the need to support the processing of all sources of pollution. Remediation of such discharges requires several steps of identifying the various pollutants to their treatments.

Therefore, we conducted this first work of characterization of industrial effluents generated by the mineral fertilizer factory complex, Fertial (ARZEW) and we discussed the pollution load generated by this type of industry. This monitoring would establish a tool for reflection and decision support developed by a management system capable of ensuring effective and sustainable management of effluents from industrial activities Fertial.

Keywords: Industrial effluent, air pollution, SM, Discharge standard.