الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف



THÈSE En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Présenté par : NAILI Said

Intitulé

Étude de la Dispersion des Émissions Atmosphériques Issues de la Zone Industrielle d'Arzew

Faculté : Chimie

Département : Génie Chimique

Spécialité : Génie des procédés

Option : Chimie

Devant le Jury Composé de :

Membres de Jury	Grade	Qualité	Domiciliation
BENHAMOU Abdellah	Professeur	Président	Univ- USTO MB-Oran
MORSLI Amine	MCA	Encadrant	Univ- USTO MB-Oran
BENGUELLA Belkacem	Professeur	Examinateur	Univ- Abou Bakre Belkaid- Tlemcen
MAKHOUKHI Benamar	Professeur	Examinateur	Univ -Abou Bakre Belkaid- Tlemcen

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Pour commencer, je tiens tout d'abord à témoigner ma profonde gratitude et mes sincères remerciement à Monsieur MORSLI Amine, Maître de Conférence au Département de Génie Chimique de la faculté de Chimie de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf (USTO) de m'avoir permis de réaliser cette thèse et qui a suivi et dirigé ce travail avec beaucoup de patience et de disponibilité, sans jamais cesser de prodiguer son aide et ses précieux conseils.

J'exprime mon témoignage à Monsieur **BENHAMOU** Abdellah, Professeur à l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf (USTO), de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Je voudrai remercier très sincèrement Monsieur BENGUELLA Belkacem Professeur à l'Université Abou Bakre Belkaid, Tlemcen et Monsieur MAKHOUKHI Benamar, Professeur à l'Université Abou Bakre Belkaid, Tlemcen pour le temps qu'ils ont consacré à lire ce manuscrit pour leurs rapports très précis et utiles.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes ayant aidé de prés ou de loin à l'achèvement de cette thèse et plus particulièrement Monsieur SIMRABAT Moulay Arbi, Ex Directeur de la Direction Qualité, Santé, Sécurité et Environnement, Monsieur SAHNOUN Abed, Ex Chef du Département HSE/Santé et Environnement et Mademoiselle ZAITRA Nadia, Ingénieur HSE/Environnement.

*J*e remercie profondément et particulièrement, Monsieur **BOUDJAMAA Yacine**, Doctorant en Chimie à l'USTO-MB, pour ses précieux services.

Je remercie vivement la **Direction Régionale Industrielle d'Arzew** et en particulier toute l'**équipe du Département HSE/Santé et Environnement** pour leur aide précieuse.

Je ne pourrai terminer mes remerciements sans y associer ma famille NAILI, la famille BOURI, SMAHI, KHATIR et BOUMADANI.

*E*nfin et surtout, je remercie très sincèrement **mes parents** et **mon épouse** qui m'ont donné la confiance et le soutien indispensable pendant la période d'achèvement de ce travail.

Dédicaces

À mon cher père et ma très chère mère

À ma chère épouse et mes enfants

À mes belles sœurs

À mes frères

À mes amis et mes collègues

À tous ceux qui me sont chers

ملخص

إن رصد انبعاثات الملوثات في الغلاف الجوي يمثل مشكلة بيئية من الدرجة الأولى للمصنعين، سواء كانت محددة (انبعاثات ملوثة من المداخن) أو غير محددة (تسربات عرضية من الأنابيب أو صهاريج التخزين). إن المعرفة والسيطرة على هذه الانبعاثات ضرورية الأن لتحديد وتقليل تأثير ها البيئي.

الهدف من هذه الأطروحة هو تقييم أثر الانبعاثات الصناعية، مثل ثاني أكسيد النيتروجين وأكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون وأكسيد الكربون والجسيمات العالقة والمركبات العضوية المتطايرة غير المثانية والأمونيا الناجمة عن القطب الصناعي بأرزيو على جودة الهواء المحيط على مستوى المواقع القريبة من الأنشطة الصناعية باستخدام محطة رصد نوعية الهواء وأيضا على مستوى المناطق الحضرية من خلال نمذجة تشتت الإنبعاثات الصناعية. تظهر النتائج المقدمة خلال فترات القياس (2016-2019) اعتماد مستويات تلوث الهواء على كثافة الانبعاثات الجوية ذات المنشأ الصناعي وعلى الظروف الجوية. بالنظر إلى مستوى التلوث الجوي مقارنة بالقيم التنظيمية الحدية، نتائج الملوثات المدروسة خلال فترات أخذ العينات تشير إلى أن جودة الهواء المحيط تختلف من واحد موسم إلى آخر ومن موقع إلى آخر. تظهر نتائج الملوثات المدروسة أيضًا أن محتوى الجسيمات العالقة في الهواء المحيط تمثل مشكلة صحية وبيئية وفقًا لإرشادات منظمة الصحة العالمية.

هذه در اسة أولية تتمثل أهدافها الرئيسية في الإشارة إلى إمكانية تحديد مصدر التلوث وتقييم مستوى تلوث الهواء المحيط وفقًا للتشريعات الوطنية المنسقة مع اللوائح والتوجيهات الدولية.

الكلمات الرئيسية: انبعاثات الغلاف الجوي، الأنشطة الصناعية، جودة الهواء المحيط، تلوث الهواء.

Résumé

La surveillance des émissions de polluants dans l'atmosphère est un problème environnemental de premier ordre pour les industriels. Qu'elles soient ponctuelles (émissions polluants des cheminées) ou fugitives (fuites accidentelles de canalisations ou des bacs de stockage), la connaissance et la maîtrise de ces émissions est aujourd'hui nécessaire pour quantifier et réduire leur impact environnemental.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer l'impact des émissions atmosphériques telles que les NO₂, NO, CO, CO₂, PM₁₀, BTEX et NH₃, dues au pôle industriel d'Arzew, sur la qualité de l'air ambiant au niveau des sites à proximité des activités industrielles, en utilisant d'une station de surveillance de la qualité de l'air ambiant et au niveau des zones urbaines à travers la modélisation des émissions atmosphériques industrielles.

Les résultats présentés lors des périodes de mesure (2016-2019) montrent la dépendance des niveaux de pollution de l'air à la densité des émissions atmosphérique d'origine industrielle et aux conditions métrologiques. Compte tenu du niveau de pollution de l'air conformément aux valeurs limites réglementaires, les résultats polluants étudiés pendant les périodes d'échantillonnage indiquent que la qualité de l'air ambiant varie d'une saison à l'autre et d'un site à l'autre. Les résultats des polluants étudiés montrent également que la teneur en PM₁₀ dans l'air ambiant constitue une problématique environnementale.

*I*l s'agit d'une étude préliminaire dont les principaux objectifs sont de pointer vers l'identification possible de la source de pollution et d'évaluer le niveau de pollution de l'air conformément à la réglementation en vigueur.

<u>Mots clés</u>: Émissions atmosphériques, Activités industrielles, Qualité de l'air ambiant, Pollution de l'air.

Abstract

The monitoring pollutant emissions to the atmosphere is a major environmental problem for industry. That they are punctual (emissions of pollutants by a chimneys) or fugitive (accidental leaks from pipes or storage tanks), knowledge and control of these emissions is now necessary to quantify and reduce their environmental impact.

The objective of this thesis is to assess the impact of atmospheric emissions such as NO₂, NO, CO, CO₂, PM₁₀, BTEX and NH₃, due to the industrial area of Arzew, on the quality of ambient air in level of sites near industrial activities, using an ambient air quality monitoring station and at the level of urban areas through the modeling of industrial atmospheric emissions.

The results presented during the measurement periods (2016-2019) show the dependence of the air pollution levels on the density of atmospheric emissions of industrial origin and on metrological conditions. Considering the level of atmospheric pollution in accordance with regulatory limit values, the pollutant results studied during the sampling periods indicate that the ambient air quality varies from one season to another and from one location to another. The results of the pollutants studied also show that the PM₁₀ content in ambient air constitutes a health and environmental problem in accordance with WHO guidelines.

This is a preliminary study, the main objectives of which are to point to the possible identification of the source of pollution and to assess the level of air pollution in accordance with current regulations.

<u>Keywords</u>: Atmospheric emissions, Industrial activities, Ambient air quality, Air pollution.

Table des matières

Résumés	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations et symboles	
Introduction Générale	01
CHAPITRE I GENERALITES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	
I.1. Atmosphère terrestre	05
I.2. Composition de l'atmosphère	06
I.3. Mouvement de l'air atmosphérique	07
I.4. Introduction à la pollution atmosphérique	07
I.4.1. Historique	08
I.4.2. Catégories de polluants atmosphériques	09
I.4.3. Sources de pollution	09
I.5. Problématique de la pollution industrielle	11
I.5.1. Principaux polluants atmosphériques	12
I.6. Enjeux sanitaires et environnementaux	15
I.6.1. Impact sur la santé humaine	15
I.6.2. Impacts sanitaires des principaux polluants	16
I.6.3. Impacts environnementaux	18
I.6.4. Impacts environnementaux des principaux polluants	20
I.7. Étapes de dispersion des polluants	21
I.8. Paramètres influençant la qualité de l'air	21
I.8.1. Influence du vent	21
I.8.2. Influence de la stabilité de l'atmosphère	22
I.8.3. Influence des précipitations	22
I.8.4. Influence de l'humidité	22
I.8.5. Influence de la topographie locale	23
I.9. Dispersion des polluants	23
I.10. Mécanismes naturels d'élimination des polluants	24
I.11. Mode d'émission	24
I.11.1. Émission instantanée	24

I.11.2. Émission continue	25
I.12. Réglementations et directives de gestion de la qualité de l'air	25
I.12.1. Lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé	25
I.12.2. Directives européennes	26
I.12.3. Réglementation Algérienne	26
I.13. Conclusion	27
CHAPITRE II ZONE D'ÉTUDE, MATERIELS ET METHODES DE MESI	URES
II.1. Situation géographique de la région d'Arzew	28
II.2. Contexte Climatologique de la région d'Arzew	28
II.2.1. Conditions météorologiques dans la zone d'étude	29
II.2.1.1. Pluviométrie	29
II.2.1.2. Température de l'air	30
II.2.1.3. Humidité relative de l'air	31
II.2.1.4. Régime des vents	31
II.3. Présentation de la zone industrielle d'Arzew	32
II.4. Principales émissions atmosphériques industrielles d'Arzew	36
II.5. Système de surveillance de la qualité de l'air	37
II.5.1. Station de mesure	37
II.5.2. Instruments de mesure et techniques d'analyse	38
II.5.2.1. Analyseurs de mesure	38
II.5.3. Systèmes d'acquisition et traitement de données	40
II.5.3.1. Système d'acquisition de données	40
II.5.3.2. Système de traitement de données	40
II.5.4. Modélisation de la dispersion atmosphérique	41
II.5.4.1. Place de la modélisation	41
II.5.4.2. Aide à la décision	42
II.5. Conclusion	43
CHAPITRE III IMPACT DES ÉMISSIONS ATMOSPHERIQUES DUES DE L INDUSTRIELLE D'ARZEW SUR LA QUALITE DE L'AIR AN	
III.1. Introduction	44
III.1.1. Critères de choix des sites de surveillance	44
III.1.2. Objectifs de choix des sites de surveillance	44

III.2. Conditions météorologiques durant les périodes de mesure	45
III.2.1. Précipitations	45
III.2.2. Température	46
III.2.3. Humidité	46
III.2.4. Vitesse du vent	47
III.2.5. Rose du vent	48
III.3. Évaluation de l'impact des émissions industrielles	49
III.3.1. Évaluation des niveaux de teneur en NO, NO2 et CO	49
III.3.1.1. Description du site de mesure	49
III.3.1.2. Normes pour les NO ₂ et CO dans la qualité de l'air	49
III.3.1.3. Résultats	51
III.3.1.4. Discussion	56
III.3.1.5. Conclusion	57
III.3.2. Évaluation de niveau de la teneur de CO ₂	57
III.3.2.1. Description du site d'échantillonnage	57
III.3.2.2. Normes pour le CO ₂ dans la qualité de l'air	57
III.3.2.3. Résultats	59
III.3.2.4. Discussion	61
III.3.2.5. Conclusion	61
III.3.3. Évaluation de niveau des concentrations des composés BTEX	62
III.3.3.1. Description de la campagne de mesure	62
III.3.3.2. Sites d'échantillonnage et périodes de mesure	64
III.3.3.3. Ligne directrice pour le benzène dans la qualité de l'air ambiant	64
III.3.3.4. Variation des concentrations des composés BTEX dans différents secteurs	64
III.3.3.5. Variation des concentrations de BTEX dans différents sites de mesure	65
III.3.3.6. Conclusion	69
III.3.4. Évaluation de niveau de la concentration de PM ₁₀	69
III.3.4.1. Site d'échantillonnage	69
III.3.4.2. Norme pour les PM ₁₀ dans la qualité de l'air ambiant	69
III.3.4.3. Résultats et discussion	70
III.3.4.4. Conclusion	74

CHAPITRE IV MODELISATION DE LA DISPERSION DES ÉMISSION ATMOSPHERIQUES INDUSTRIELLES

IV.1. Introduction	75
IV.2. Généralité sur la modélisation de la dispersion atmosphérique	76
IV.3. Modèles de dispersion atmosphérique	76
IV.3.1. Modèles gaussiens	76
IV.3.2. Modèles lagrangiens	77
IV.3.3. Modèles eulériens	77
IV.4. Présentation du modèle de dispersion ARIA Impact	78
IV.4.1. Description du modèle ARIA IMPACT	78
IV.4.2. Caractéristiques du modèle ARIA IMPACT	79
IV.4.3. Processus de modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques	79
IV.4.3.1. Émissions	79
IV.4.3.2. Données topographiques	79
IV.4.3.3. Données météorologiques	80
IV.5. Modélisation de la dispersion des émissions industrielles	81
IV.5.1. Domaine d'étude	81
IV.5.2. Topographie	83
IV.5.3. Conditions météorologiques durant les périodes de modélisation	83
IV.5.3.1. Stabilité atmosphérique	83
IV.5.3.2. Rose des vents	84
IV.5.3.3. Températures	85
IV.5.4. Description des complexes industriels	85
IV.5.5. Inventaire des émissions des activités industrielles	86
IV.5.6. Principe d'évaluation de l'impacts sur la qualité de l'air ambiant	86
IV.5.7. Résultats de modélisation	86
IV.5.8. Discutions	91
IV.5.9. Conclusion	92
Conclusions et Perspectives	93
Bibliographie	96
Annexe A: Publications	
Annexe B: Communications	

Liste de Figures

- Figure I.1 : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre
- Figure IL1: Répartition de la pluviométrie dans la wilaya d'Oran et ses environs
- Figure II.2: Rose de vent annuel (2010-2018) dans la région d'Arzew
- Figure IL3: Image satellitaire de la zone industrielle d'Arzew
- Figure II.4 : Localisation de complexes industriels et d'unités dans le pôle industriel d'Arzew
- Figure IL5 : Station de surveillance de la qualité de l'air ambiant
- **Figure II.6** : Analyseur de poussières (PM₁₀) (Modèle MP101M)
- **Figure II.7**: Analyseur d'Oxydes d'Azote (Modèle AC32M-CN3)
- Figure IL8: Analyseur de CO-CO₂ (Modèle CO12M)
- **Figure II.9** : Analyseur de BTEX (Modèle VOC71M)
- Figure IL10 : Système de surveillance de la qualité de l'air ambiant
- **Figure III.1**: Répartition moyenne mensuelle des précipitations dans la zone d'étude (2016-2019)
- **Figure III.2**: Variations moyenne mensuelle des températures dans la zone d'étude (2016-2019)
- Figure III.3: Variation moyenne mensuelle d'humidité dans la zone d'étude (2016-2019)
- Figure III.4: Variation moyenne mensuelle de la vitesse du vent dans la zone d'étude (2016-2019)
- **Figure III.5**: Rose des vents dans la zone d'étude (2016-2019)
- **Figure III.6** : Localisation géographique du site de mesure dans le pôle industriel pendant la période de mesure de 2016
- **Figure III.7**: Variations horaires moyennes des concentrations de NO et NO₂ pendant la période de mesure de 2016
- **Figure III.8** : Variations horaires moyennes des concentrations de CO pendant la période de mesure de 2016
- **Figure III.9**: Variations quotidiennes moyennes des concentrations de NO et NO₂ pendant la période de mesure de 2016
- **Figure III.10**: Variations quotidiennes moyennes des concentrations de CO pendant la période de mesure de 2016
- **Figure III.11**: Variations moyennes des concentrations de NO, NO₂ et CO pendant les jours ouvrables et les weekends durant la période de mesure de 2016
- Figure III.12: Localisation géographique du site de mesure dans la zone d'étude en 2017
- Figure III.13 : Variation journalière moyenne de la teneur en CO₂ en 2017
- Figure III.14: Variation mensuelle moyenne de la teneur en CO₂ en 2017
- Figure III.15 : Variation saisonnière moyenne de la teneur en CO₂ en 2017
- **Figure III.16**: Localisation géographique des différents sites de mesure dans la zone industrielle d'Arzew en 2019
- Figure III.17: Variation des concentrations d'espèces BTEX dans différents secteurs en 2019

- **Figure III.18**: Variation des concentrations de BTEX dans le site du raffinage du pétrole brut pendant la période de mesure de 2019
- **Figure III.19**: Variation des concentrations de BTEX dans les sites de stockage d'hydrocarbures pendant la période de mesure de 2019
- **Figure III.20**: Variation des concentrations de BTEX dans les sites de traitement et liquéfaction du gaz naturel pendant la période de mesure de 2019
- **Figure III.21**: Variation des concentrations de BTEX dans les sites des complexes industriels pétrochimiques pendant la période de mesure de 2019
- **Figure III.22**: Variations horaires moyennes des PM₁₀ pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019
- **Figure III.23**: Variations quotidiennes moyennes des PM₁₀ pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019
- Figure IV.1: Exemple d'utilisation d'ADMS sur la raffinerie de Normandie
- **Figure IV.2** : Exemple d'utilisation du modèle lagrangien MSS (Aria Technologie) sur la raffinerie de Normandie
- **Figure IV.3**: Exemple d'utilisation de FLUENT 6.3 sur la raffinerie de Donges : Panaches
- Figure IV.4 : Méthodologie de modélisation de la dispersion atmosphérique dans un site donné
- Figure IV.5 : Carte du domaine d'étude et de localisations des points de récepteurs
- **Figure IV.6** : Représentation du domaine d'étude
- **Figure IV.7** : Répartition des observations météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique (2017-2019)
- **Figure IV.8**: Rose des vents par classe de vitesse (2017-2019)
- **Figure IV.9** : Variation moyenne mensuelle de la température de l'air (2017-2019)
- **Figure IV.10** : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispers des PM₁₀, NO_x et NH₃ en 2017
- **Figure IV.11** : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispers des PM₁₀, NO_x et NH₃ en 2018
- **Figure IV.12** : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispers des PM₁₀, NO_x et NH₃ en 2019

Liste des Tableaux

- **Tableau I.1**: Composition de l'air sec
- Tableau I.2: Principaux polluants de l'air extérieur et impacts sur la santé
- **Tableau I.3**: Impacts des principaux polluants sur l'environnement
- Tableau I.4: Valeurs limites recommandées par l'OMS
- **Tableau I.5**: Valeurs limites recommandées par l'Union Européenne
- **Tableau I.6**: Valeurs limites réglementaires par le décret exécutif n° 06-02
- **Tableau II.1**: Répartition moyenne interannuelle des pluviométries dans la région Arzew
- Tableau II.2 : Répartition moyenne interannuelle des températures dans la région Arzew
- Tableau IL3: Répartition moyenne interannuelle d'humidités relative dans la région Arzew
- **Tableau II.4** : Répartition moyenne interannuelle de la vitesse et direction du vent dans la région Arzew
- **Tableau II.5**: Principales émissions atmosphériques industrielles d'Arzew
- Tableau III.1: Valeurs guides pour les polluants de l'air ambiant
- **Tableau III.2**: Concentrations moyennes mensuelles de NO₂, NO et CO pendant la période de mesure de 2016
- **Tableau III.3**: Valeur limite en moyenne journalière du CO₂ dans l'air ambiant en milieu industriel
- Tableau III.4 : Sites d'échantillonnage et périodes de mesure en 2019
- **Tableau III.5**: Valeurs mensuelles moyennes des PM₁₀ pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019
- Tableau IV.1 : Caractéristiques des sources et du flux d'émissions
- **Tableau IV.2** : Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°1 en 2017, 2018 et 2019
- **Tableau IV.3**: Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°2 en 2017, 2018 et 2019

Liste des Abréviations et Symboles

GIEC Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat **OMS** Organisation Mondiale de la Santé **IPCC** Intergovernmental Panel on Climate Change **OSHA** Occupational Safety and Health Administration ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry **IARC** Centre International de Recherche sur le Cancer Potentiel de Réchauffement Global **PRG** GES Gaz à Effet de Serre **EPA-US** Environmental Protection Agency-United States ONM Office National de la Météorologie ETR Évapotranspiration réelle **ETP** Évapotranspiration Potentielle ISO Organisation Internationale de Normalisation UE Union Européenne EN Normes Européennes **GNL** Gaz Naturel Liquéfié **GPL** Gaz de Pétrole Liquéfié **CLA** Couche Limite Atmosphérique FID Détecteur à Ionisation de Flamme **NO**x Oxydes d'azote NO_2 Dioxyde d'azote NO Monoxyde d'azote NH₃ Ammoniac CO Monoxyde de carbone COVNM Composés Organiques Volatils non Méthaniques COV Composés Organiques Volatils **BTEX** Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

 CO_2

Dioxyde de carbone

PM_X Particules en suspension

PM₁₀ Particules en suspension de diamètre inférieur à 10 micromètres

POP Polluants Organiques persistants

HCB Hexachlorobenzène

PCB Polychlorobiphényles

HAP Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

CH₄ Méthane

N₂O Protoxyde d'azote

CFC Chlorofluorocarbures

PFC Perfluorocarbures

SF6 Hexafluorure de soufre

 SO_x Oxydes de soufre

SO₂ Dioxyde de soufre

O₃ Ozone

Pb Plomb

H₂O Eau

OH Hydroxyle

m Mètre

km Kilomètre

m² Mètre carré

m³ Mètre cube

mg/m³ Milligramme par mètre cube

μg/m³ Microgramme par mètre cube

m/s Mètre par seconde

km/h Kilomètre par heur

mm Millimètre

°C Degré Celsius

% Pourcentage

Introduction Générale

Depuis plus d'un siècle, les activités industrielles n'ont fait que croître en parallèle avec la population. Les progrès techniques et technologiques ont été accompagnés d'un accroissement de la production d'énergie, des activités industrielles, des transports, etc., ce qui a entraîné de graves problèmes de la pollution atmosphérique dans le monde entier (Quénel, 1997). Les problèmes liés à la pollution de l'air sont devenus une préoccupation permanente pour les pouvoirs publics, les scientifiques et même la société civile. La prise de conscience collective de l'impact des différents polluants sur la santé et l'environnement fait progressivement évoluer les concepts dans le sens d'une réduction de cette pollution.

En 2014, le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) a publié son cinquième rapport auquel ont collaboré 831 experts pour sa rédaction et qui repose sur une évaluation globale de près de 30 000 études (Field et al, 2014). Cette synthèse affirme que la température moyenne à la surface de la planète a augmenté de 0,85 °C entre 1880 et 2012, à une vitesse inédite jusqu'alors ; celle à la surface des océans de 0,11 °C par décennie entre 1971 et 2010. Si le réchauffement climatique se poursuit, le rapport prévient que les conséquences seront lourdes en termes de sécurité alimentaire, de disponibilité en eau potable, de risques d'inondations et de tempêtes, avec une hausse probable des déplacements des populations et de conflits pour l'accès aux ressources. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) estime à 3,7 millions le nombre de décès prématurés provoqués dans le monde par la pollution ambiante (air extérieur) en 2012 (Grosse et al, 2014). Ces chiffres confirment que la pollution atmosphérique est désormais le principal risque environnemental pour la santé dans le monde et qu'on pourrait sauver des millions de vies en luttant contre ce type de pollution.

Devant cette situation, dont l'évolution future semble pessimiste, en raison notamment du développement de l'activité industrielle dans le monde, une prise de conscience des pouvoirs publics et de la population commence à naitre dans les pays développés ainsi que les pays émergeants, dont l'Algérie. Des mesures réglementaires de plus en plus sévères ont alors été adoptées pour limiter les émissions de polluants, en particulier celles d'origines industrielles.

Au cours de ces dernières décennies, l'industrie a fait appel au secteur de la recherche pour développer et optimiser ses méthodes de production, par la mise en place de procédés de plus en plus perfectionnés. Cependant, la réduction des émissions industrielles passe aussi par la surveillance continue des sites et de leurs abords et par l'analyse de scénarii accidentels pour

améliorer la compréhension des causes des pics de pollution et prendre les mesures nécessaires pour éviter leurs reproductions futures (Vendel, 2011). Cette approche nécessite la mise en place de réseaux de contrôle de la qualité de l'air et l'utilisation de plusieurs outils de surveillance tels que camions laboratoire, préleveurs, inventaire des émissions, modèles numériques, etc., pour conseiller les autorités, informer et prévenir les populations. En appui de ces outils de surveillance, le monde industriel s'est tourné vers la modélisation de la pollution atmosphérique, afin de renforcer et d'améliorer la sécurité au sein et en dehors des sites de production (Vendel, 2011). Grâce aux développements des ressources informatiques, cet aspect numérique a pris ces dernières années un poids de plus en plus important dans les systèmes de régulation de la pollution industrielle.

L'Algérie, de par sa croissance économique, est plus que jamais concernée par ce phénomène, en particulier, à travers de grandes activités industrielles, notamment la zone industrielle d'Arzew dans la région d'Oran (Nord-ouest de l'Algérie). La zone industrielle d'Arzew est caractérisée par un grand nombre de points d'émissions atmosphériques, qu'elles soient ponctuelles (rejet de polluant par une cheminée) ou fugitives (fuites accidentelles de canalisations ou de stockages) (Naili et al, 2021 a ; Naili et al, 2021 b ; Naili et al, 2020 ; Medjahed et al, 2018 ; Medjahed et al, 2017 ; Tayeb, 2016). Les principales émissions industrielles résultant des complexes de la liquéfaction de gaz, du raffinage du pétrole et de la pétrochimie sont les polluants gazeux, les particules en suspension et certains gaz à effet de serre.

La qualité de l'air ambiant ayant un impact significatif sur la santé et l'environnement. Ainsi la connaissance et la maîtrise des émissions est devenue aujourd'hui nécessaire pour quantifier et réduire leur impact environnemental (Zenata et al, 2010). Pour cela, deux principaux outils sont utilisés pour étudier la composition de la qualité de l'air ambiant au niveau de la zone industrielle d'Arzew : le premier est l'observation qui permet de connaître en un instant donné et en un point, ou un ensemble de point, ce qu'il se passe dans l'atmosphère ; le deuxième est la modélisation numérique, qui permet de simuler l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère grâce au logiciel de dispersion atmosphérique ARIA-Impact adapté au milieu industriel.

La surveillance de la qualité de l'air est réalisée sur la plateforme du pôle industriel d'Arzew par une station de mesure. Cet outil peut surveiller de nombreux polluants automatiquement par échantillonnage suivi d'analyses au laboratoire. La station est un dispositif de mesure des concentrations dans des sites de mesures représentatifs des niveaux élevés susceptibles d'être

exposés à l'air ambiant, par des phénomènes de panache ou d'accumulation. Les émissions surveillés dans cette étude sont ceux qui font l'objet d'une réglementation nationale et internationale sur la qualité de l'air ambiant et comprenant les polluants gazeux à savoir le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), l'ammoniac (NH₃), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) tels que le benzène, toluène, éthylbenzène et les xylènes (BTEX) et le gaz à effet de serre (CO₂), additivement aux particules en suspension (PM₁₀).

En complément des mesures d'émissions industrielles dans l'air ambiant, la surveillance fait de plus en plus appel à des outils numériques pour modéliser la dispersion des émissions industrielles et déterminer l'évolution de l'espèce polluante de son point d'émission jusqu'à la zone d'étude, en plus de prévoir la qualité de l'air dans les prochains jours. Dans ce contexte, un logiciel de dispersion atmosphérique ARIA-Impact adapté au milieu industriel, a été mis en œuvre, notamment pour modéliser la dispersion des émissions industrielles résultant d'activités industrielles à Arzew et déterminer l'évolution de l'espèce polluante de son point d'émission jusqu'à la zone d'étude. Ce logiciel de suivi de la pollution de sites industriels répond à la réglementation en vigueur sur la qualité de l'air en simulant la dispersion à long terme de toutes les émissions atmosphériques, qu'elles soient gazeuses ou particulaires d'origines industrielles.

La conception de stratégies de contrôle de la qualité de l'air est une tâche complexe. Par conséquent, les normes de qualité de l'air devraient être appliquées en réduisant les émissions pour différents polluants atmosphériques, gaz à effet de serre et de particules en suspensions d'origine industrielle, à travers un ensemble d'actions. La définition de stratégies efficaces requiert des informations précises et détaillées sur la situation locale, et des outils rapides et simples à traiter. L'objectif de cette étude est de présenter le contexte dans lequel se situe la démarche mise en œuvre au cours de cette thèse, la zone d'étude étant la région d'Arzew, plus particulièrement le pôle industriel d'Arzew.

Ce manuscrit présent de manière succincte, dans le premier chapitre, la problématique de la pollution atmosphérique afin de tracer le cadre dans lequel s'instaurera ce travail de recherche. Après avoir abordé quelques généralités concernant cette pollution de l'air, nous présenterons les différentes sources d'émission ainsi que les principaux polluants soumis à des mesures restrictives en vertu des différentes législations en vigueur.

Le deuxième chapitre présentera d'une part la zone d'étude et son contexte climatique, ainsi que les principales sources d'émissions atmosphériques générées par les activités industrielles

du pôle industriel d'Arzew. D'autre part, il décrira les principaux outils et méthodes utilisés pour étudier l'impact des émissions de polluants gazeux et de particules mentionnées cidessus sur la qualité de l'air ambiant à l'aide d'une gamme d'analyseurs et d'un logiciel de modélisation de la dispersion des émissions atmosphérique adapté au milieu industriel.

Le troisième chapitre présentera les caractéristiques météorologiques de la zone d'étude et dérivera l'impact des émissions de la zone industrielle d'Arzew, telles que le NO₂ NO, CO, CO₂, BTEX, et les PM₁₀, sur l'air ambiant par rapport aux normes de qualité de l'air en utilisant un laboratoire mobile pour mesurer en temps réel la quantité de polluants étudiés.

Le dernier chapitre concentrera sur la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'origine industrielle. Après un aperçu sur les différents modèles de dispersion atmosphérique et leurs caractéristiques en termes de surveillance, nous mènerons une étude sur la dispersion des émissions de NO_X, PM₁₀ et NH₃ dans l'atmosphère à travers la modélisation de deux activités industrielles situés au sein du pole industriel d'Arzew afin d'évaluer leurs impacts sur la qualité de l'air conformément à la réglementation en vigueur. Enfin, nous terminerons ainsi notre étude par la présentation des principaux résultats de notre travail et les conclusions et perspectives.

CHAPITRE I

Généralités sur la Pollution Atmosphérique

Ce chapitre présent de manière succincte la problématique de la pollution atmosphérique afin de tracer le cadre dans lequel s'instaurera ce travail de recherche. Après avoir abordé quelques généralités concernant la pollution de l'air, nous présenterons les différentes sources d'émission ainsi que les principaux polluants soumis à des mesures restrictives en vertu des différentes législations en vigueur. Cela nous permettra, par la suite, d'aborder certains aspects liés à la problématique de la pollution industrielle.

I.1. Atmosphère terrestre

L'atmosphère est une fine couche gazeuse qui s'étend verticalement sur une centaine de kilomètres. Retenue sur Terre par la force de gravité, l'atmosphère est verticalement découpée en strates suivant des points remarquables sur le profil moyen de température. La figure I.1 représente le profil vertical moyen de température dans l'atmosphère. La couche la plus basse, la troposphère, s'étend de la surface jusqu'à une séparation appelée tropopause qui correspond à la première cassure dans le profil moyen de température (Viers, 1968). L'altitude de la tropopause est d'environ 6-8 km au niveau des pôles, entre 10 et 12 km au niveau des moyennes latitudes et atteint 16-18 km au voisinage de l'équateur. Nous divisons les basses couches atmosphériques (altitude inférieure à 10 km) en deux parties distinctes (Viers, 1968):

- Couche libre, la partie supérieure de la troposphère. Le vent y est déterminé par de grands mouvements d'ensemble à l'échelle de la planète et est appelé vent géostrophique. Il résulte de l'équilibre entre les forces de gradient de pression et la force de Coriolis due à la rotation de la terre.
- Couche limite atmosphérique (CLA), la partie proche de la surface terrestre. Le sol y perturbe l'écoulement de l'air et donne naissance à une forte agitation appelée turbulence. La variation diurne du rayonnement solaire y est directement perceptible d'un point de vue thermique.

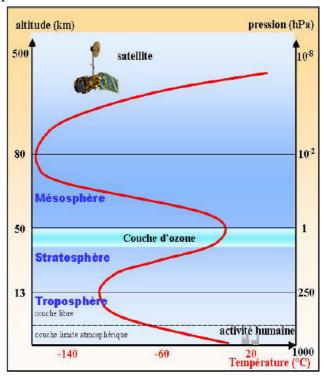


Figure I.1: Schéma structurel de l'atmosphère terrestre (Viers, 1968).

I.2. Composition de l'atmosphère

L'air sec se compose de 78,087 % de diazote, 20,95 % de dioxygène, 0,93 % d'argon, 0,041 % de dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz. L'atmosphère protège la vie sur terre en filtrant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par la rétention de chaleur (effet de serre) et en réduisant partiellement les écarts de température entre le jour et la nuit. Le tableau I.1 montre, jusqu'à environ 80 km d'altitude, la composition de l'air sec (Robert et al, 1997).

Tableau I.1: Composition de l'air sec.

Gaz	Proportion
Diazote (N ₂)	78,08 %
Dioxygène (O2)	20,95 %
Argon (Ar	0,934 %
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,04 %
Néon (Ne)	18,18 ppmv
Hélium (He)	5,24 ppmv
Monoxyde d'azote (NO)	5 ppmv
Krypton (Kr)	1,14 ppmv
Méthane (CH ₄)	1,9 ppmv
Dihydrogène (H ₂)	0,5 ppmv
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0,5 ppmv
Xénon (Xe)	0,087 ppmv
Dioxyde d'azote (NO ₂)	0,02 ppmv
Ozone (O ₃)	0–0,01 ppmv
Radon (Rn)	6,0×10 ⁻¹⁴ ppmv

La seule variation importante de la composition de l'air étant celle de la teneur en vapeur d'eau. La plupart du temps, l'air de l'environnement terrestre est humide car il contient de la vapeur d'eau. Au voisinage du sol, la quantité de vapeur d'eau (H₂O) est très variable (de <1 % à ~5 %) (Robert et al, 1997). Elle dépend des conditions climatiques, et en particulier de la température. Retenons que l'atmosphère se décompose en trois groupes, les molécules d'air sec et les gaz permanents, le contenu en eau et les aérosols.

I.3. Mouvement de l'air atmosphérique

La circulation générale de l'air atmosphérique est le mouvement à l'échelle planétaire de la couche d'air entourant la terre. Cette dernière redistribue l'énergie provenant du soleil et qui a chauffée de manière inhomogène les différentes régions de la planète (Corti et al, 2006). En effet de par la forme ellipsoïdale de la terre, la radiation solaire incidente au sol varie entre un maximum aux régions équatoriales et un minimum à celles proches des pôles. Par conséquent, il s'en suit un réchauffement différentiel entre les deux régions et c'est ce flux de chaleur, ainsi créé qui est responsable des grands mouvements de masse d'air (Corti et al, 2006). D'un point de vue dynamique, les mouvements convectifs ainsi créés sont soumis à deux forces. La première, la force de Coriolis (Persson, 1998), est directement liée à la rotation de la terre et dévie, en altitude, les trajectoires de ces masses d'air. Quant à la deuxième, c'est une force de frottement qui se manifeste au contact du sol et qui a pour conséquence un ralentissement du mouvement.

I.4. Introduction à la pollution atmosphérique

Du fait de sa nature complexe, la pollution atmosphérique fait l'objet, suivant les pays et parfois suivant les divers organismes qui en ont la charge dans un même pays, de plusieurs définitions différentes. Certaines reposent sur le principe que toute modification de la composition normale de l'air est une pollution atmosphérique, d'autres y ajoutent des notions de gênes ou de nocivité dues aux composés anormaux qui ont modifié cette composition. De même, la présence de polluants d'origine naturelle (émissions par la végétation, l'érosion du sol, les volcans, les océans, etc.) peut, selon certains organismes être considérée comme une pollution atmosphérique tandis que d'autres préfèrent ne parler que de polluants liés à l'activité humaine. Parmi les définitions existantes de la pollution atmosphérique :

L'Organisation Mondiale de la Santé (2011) : Par pollution de l'air, on entend la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère.

La Loi Algérienne n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable :« L'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites.

Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 (Melquiot, 2004) : Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne.

La pollution atmosphérique est donc un phénomène qui met en jeu des émetteurs naturels ou anthropogéniques, un milieu (l'atmosphère), des récepteurs (l'homme, l'animal, le végétal ou le matériau) et une sensibilité. Son étude peut être distinguée en trois grandes échelles spatiotemporelles. Ces échelles sont fonction du transport des polluants et donc de leur durée de vie qui dépend de la stabilité des substances chimiques :

Échelle locale (rue, quartier, ville donc de 10 m à 10 km): La pollution provient des effets directs du chauffage individuel, des fumées des usines et des modes de transport. L'impact des divers polluants est direct sur la santé des hommes et des animaux, sur la végétation et sur les matériaux. La procédure courante d'observation à cette échelle repose sur des échantillonnages au niveau du sol par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

Échelle régionale (environ 100 km): cette échelle, des phénomènes physico-chimiques complexes et variés interviennent. Elle concerne les zones où des phénomènes secondaires apparaissent, tels que les pluies acides ayant un impact non négligeable sur les forêts, les écosystèmes aquatiques ou la production d'ozone dans les basses couches atmosphériques.

Échelle globale (environ 1000 km): cette échelle, les études couvrent de très vastes régions où les effets des polluants les plus stables chimiquement agissent sur l'ensemble de la planète.

Le travail présenté dans cette étude s'intéresse à la pollution atmosphérique à l'échelle locale dans la région d'Arzew. Elle devrait permettre d'approfondir les connaissances sur la pollution de l'air, notamment sur la répartition des polluants en milieu industriel.

I.4.1. Historique

La pollution atmosphérique a toujours existé si nous examinons les émissions d'origine naturelle. Dès la fin du XVIIIème siècle, en raison des problèmes causés par la combustion du charbon dans les grandes villes (Hadfield et al, 1999), il est apparu nécessaire de mettre en place un système de management de la qualité de l'air. A l'époque, à cause des limites technologiques et en l'absence d'instrumentation adaptée à la mesure de cette pollution, il n'existait aucune réglementation. Depuis lors, entre industrialisation exponentielle et augmentation drastique de l'activité anthropique, la problématique de la pollution de l'air n'a cessé de croître. Compte-tenu des progrès technologiques réalisés en matière de mesures d'espèces gazeuses dans l'atmosphère, avec des limites de détections (LD) atteignant

quelques particules par trillion (1012) (ppt) (Koga et al, 2001) des dizaines de normes et directives ont vu le jour et réglementent désormais nombre de polluants dans l'atmosphère (Ramanathan et al, 2009). Certaines de ces espèces peuvent affecter notre environnement naturel, comme les pluies acides, liées aux émissions d'oxyde de soufre, qui détruisent la végétation, ou avoir un impact négatif sur la santé humaine allant de la simple irritation (Llop et al, 2008) à des allergies comme l'asthme ou encore déclencher des maladies graves aux conséquences létales (Pascal, 2009). En effet, au cours du siècle dernier, le développement des industries chimiques et pétrolières a conduit à une multiplication et une diversification des polluants, tandis que l'explosion démographique entrainait une hausse considérable des besoins énergétiques. Cette dégradation de la situation s'est accompagnée d'une prise de conscience par la population et les gouvernements et un corpus réglementaire s'est développée peu à peu à partir de la fin du XIXème siècle. Aujourd'hui, la prise de conscience de la pollution atmosphérique entre dans un cadre plus global et la réduction de cette pollution est devenue pour la plupart des pays industrialisés un enjeu environnemental de premier ordre.

I.4.2. Catégories de polluants atmosphériques

Les sources de cette pollution peuvent être soit biogéniques ou anthropiques (Mayer, 1999). Par définition, une source anthropique est une source de pollution liée à l'activité humaine et se subdivise en trois catégories à savoir le secteur industriel, le secteur résidentiel et le transport (Arquès, 1998). Les sources biogéniques sont les sources associées aux émissions d'origines naturelles (feu de forêt, éruption volcanique, ...) liées à la biosphère (ORS, 2007).

I.4.3. Sources de pollution

Les émissions de polluants peuvent être accidentelles lorsqu'elles sont émises de manière violente et instantanée, entraînant des conséquences dramatiques et souvent fatales ; ou chroniques lorsqu'elles sont de moindre quantité mais répétées, donnant lieu à des les conséquences moins immédiates que les émissions accidentelles. Les principales sources de pollution atmosphérique sont les suivantes :

a) Émissions naturelles

La pollution d'air naturelle, est une pollution due à l'émission dans l'atmosphère de polluants gazeux ou particulaires d'origine naturelle (volcans, érosion des roches, remise en suspension de poussières du sol, embruns marins, Incendies de forêt, etc.). Elle génère par exemple du soufre, du dioxyde d'azote, du dioxyde de carbone, ...etc., classée comme pollution d'air naturelle, toujours présente avec nous. Les sources naturelles de pollution de l'air sont définies

comme sources non causées par les gens dans leurs activités. Ces sources naturelles de pollution sont responsables, selon les estimations du "United Nations Environment Programme" de l'émission de 80 à 288 millions de tonnes d'oxyde de soufre par an (contre 79 millions pour les sources anthropiques) et de 20 à 90 millions de tonnes d'oxydes d'azote par an (contre 22 millions pour les sources anthropiques) (Larbi, 2014). De plus, 10 à 15 % de l'ozone que l'on retrouve au niveau du sol est d'origine stratosphérique où il est formé par réaction photochimique de l'oxygène avec le rayonnement ultraviolet émis par le soleil. Chaque année, environ 400 milliards de tonnes de CO₂ sont dégagées par la respiration, la fermentation ou le volcanisme.

b) Émissions industrielles

L'industrie est à l'origine des émissions spécifiques dues aux processus de traitement ou de fabrication employés. En quantités variables, selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de souffre, d'oxyde d'azote, de poussières, de composés organiques volatils, etc. Les secteurs qui rejettent les quantités les plus importantes sont la production d'énergie (centrales thermiques), les industries chimique, pétrolière et métallurgique, les incinérateurs d'ordures ménagères. L'industrie est également à l'origine de la majeure partie des émissions accidentelles.

c) Émissions dues aux distributions d'énergies

Différents composés du pétrole et d'autres carburants (surtout les hydrocarbures) provoquent des rejets polluants dans l'atmosphère lors du remplissage des réservoirs automobiles. Ce rejet est également dû à l'évaporation des bacs de stockage pétrolier. Parmi ces composés, on trouve les oxydes de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_X), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O₃), le plomb (Pb), les particules en suspension (PM₁₀) et le benzène (constituant naturel du pétrole brut).

d) Émissions d'origine agricole

L'agriculture produit des émissions polluantes telles que l'ammoniac (NH $_3$), le méthane (CH $_4$), le protoxyde d'azote (N $_2$ O) et le monoxyde de carbone (CO), dues aux déjections animales et à la propagation des engrais. L'agriculture contribue également à la pollution atmosphérique lorsque des produits phytosanitaires sont employés à grande échelle. Cette activité utilise des moyens de transport, de traction et des machines, contribuant ainsi aux pollutions relatives à l'usage de carburants fossiles. Néanmoins, l'agriculture et la sylviculture absorbent plus de gaz carbonique qu'elles n'en émettent, grâce à la photosynthèse.

e) Émissions dues aux transports

La pollution due aux transports a longtemps été, considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçu dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement l'automobile, sont une source de pollution de portée générale. Les véhicules automobiles sont ainsi de très loin la première cause d'émission d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone, et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesel sont de plus à l'origine d'émissions de particules et de dioxyde de soufre. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître.

f) Émissions dues aux traitements des déchets

Le traitement des déchets est à l'origine de plusieurs types de polluants, parmi lesquels : le méthane (largement dégagé par la décomposition des matières organiques, contribuent fortement à l'effet de serre), l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes qui sont produits par l'incinération des déchets industriels et ménagers.

g) Émissions domestiques

L'utilisation quotidienne de combustibles fossiles pour le chauffage des logements ou des bureaux produit des émissions polluantes importantes tel que le monoxyde de carbone (CO), dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NO_x), poussières, métaux lourds, etc... En plus du dioxyde de carbone (CO₂), produit inévitable de la combustion de matières organiques et dont la concentration croissante dans l'atmosphère contribue à l'effet de serre.

I.5. Problématique de la pollution industrielle

La pollution industrielle est l'une des sources les plus importantes de polluants environnementaux qui peuvent avoir un impact négatif sur la santé humaine et l'environnement (Marim et al, 2016). Les principaux secteurs industriels responsables de la pollution atmosphérique sont l'industrie pétrochimique, l'industrie chimique, l'industrie des minéraux (industries extractives), l'industrie de la production et du traitement des métaux, ainsi que des activités supplémentaires liées au traitement des déchets, industrie alimentaire, etc. Ainsi l'impact de la pollution industrielle sur l'environnement et plus précisément sur la pollution de l'air est loin d'être négligeable et la diminution des émissions est devenue depuis quelques années une priorité pour l'Algérie qui souhaite améliorer la qualité de l'air de manière significative en imposant des normes d'émissions aux industriels pour les principaux polluants, ainsi que son rôle dans les instruments de la politique climatique mondiale à travers une stratégie nationale de développement durable.

I.5.1. Principaux polluants atmosphériques

Les polluants de l'air extérieur sont d'origines et de natures différentes. Certains sont produits directement par des sources de pollution naturelle ou anthropique et d'autres résultent de réactions photochimiques. Les principaux polluants de l'atmosphère issus de l'industrie sont :

a) Dioxyde de soufre (SO_2)

Le SO₂ provient de la combustion des charbons et des fuels, des sources mobiles (trafic routier) et des procédés industriels (fabrication de l'acide sulfurique et des plastiques, raffinage du pétrole et frittage de minerais sulfureux. Il a été pris comme témoin de la pollution atmosphérique depuis de nombreuses années. Dans les grandes villes industrielles, il se lie aux particules pour former les "complexes- SO₂". En présence d'humidité et d'oxydants, il se transforme en acide sulfurique (Cavill et al, 2008). Le SO₂ est un gaz irritant pour l'appareil respiratoire et sous l'action du rayonnement solaire, il peut s'oxyder puis, en présence d'eau se transformer en acide sulfurique (phénomène des pluies acides).

b) Particules en suspension (PM)

Sont la composante principale de la pollution de l'air intérieur et extérieur. PM est un complexe, multi-polluant mélange de particules solides et liquides en suspension dans le gaz (Ristovskiet al, 2012). Les particules extérieures proviennent de divers processus naturels et des activités humaines, y compris les incendies de forêt, l'érosion éolienne, les pratiques agricoles, la combustion de combustibles fossiles, la fabrication industrielle et les véhicules à moteur (Puxbaum et al 2000; Mandija, 2013). L'intérêt actuel pour ces particules est principalement dû à leur effet sur la santé humaine (Pope et al, 2006; Khan et al, 2010; Kim et al, 2011) et leur rôle potentiel dans le changement climatique (Solomon et al, 2007). La norme PM₁₀ (Ramirez-Leal et al, 2014; Chaudhary et al, 2017; Li et al, 2015) comprend des particules ayant un diamètre de 10 micromètres ou moins. Le PM₁₀ est utilisé comme indicateur des particules en suspension dans l'air car il existe des données de surveillance étendues pour les PM₁₀ à travers le monde. Les principales préoccupations pour la santé humaine liées à l'exposition aux PM₁₀ sont les effets sur la respiration et les voies respiratoires, dommages aux tissus pulmonaires, cancer et décès prématuré (Li-Shun et al, 2006).

c) Oxydes d'azote (NO_X)

Dans la chimie atmosphérique, les NO_X sont un terme générique pour les oxydes d'azote les plus pertinents pour la pollution atmosphérique, à savoir l'oxyde nitrique (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) (Mollenhauer et al, 2010; Omidvarborna et al, 2015).

La majorité des NO_x est émise sous forme de NO, lequel est transformé rapidement en NO₂ par des processus chimiques (Houghton et al, 2001). Les gaz NO_x sont généralement produits à partir de la réaction entre l'azote et l'oxygène lors de la combustion des combustibles, tels que les hydrocarbures dans l'air, en particulier à des températures élevées, comme dans les moteurs automobiles (Houghton et al, 2001; Annamalai et al, 2007). En tant que précurseur des nitrates (particules secondaires), les NO_x ont également des effets sur le climat et jouent un rôle dans la chimie de l'ozone troposphérique, qui affecte la santé humaine et les écosystèmes naturels (Brunekreef et al, 2002). Le NO est formé par combinaison de l'azote (N₂) et de l'oxygène (O₂) lors de processus qui nécessitent de hautes températures (combustion, éclairs) et se transforme rapidement en dioxyde d'azote dans l'atmosphère en réaction avec des oxydants atmosphériques tels que l'ozone (O₃) (Brunekreef et al, 2002). Le NO₂ est un gaz odorant, brun, acide, hautement corrosif et peut affecter la santé humaine et l'environnement ; des niveaux élevés de NO2 causent des dommages aux mécanismes des voies respiratoires humaines et peuvent accroître leur susceptibilité aux infections respiratoires et à l'asthme (Heck et al, 2011). L'exposition à long terme à des niveaux élevés de NO₂ peut entraîner des maladies pulmonaires chroniques. Il peut également affecter la perception sensorielle en réduisant la capacité d'une personne à sentir une odeur.

d) Ammoniac (NH_3)

L'ammoniac est l'un des principaux polluants atmosphériques. Sous forme gazeuse, l'ammoniac est utilisé par l'industrie pour la fabrication d'engrais, d'explosifs et de polymères. Il est principalement émis dans l'atmosphère par les activités industrielles et la fertilisation agricole avec l'application des engrais. À l'état gazeux comme à l'état liquide, cette substance toxique et irritante provoque des douleurs et des brûlures (Bahino et al, 2018). Le NH₃ rejeté dans l'atmosphère provoque un enrichissement en nutriments et une acidification du sol et de l'eau. De plus, il agit comme un précurseur d'aérosol dans la troposphère (formation de nombreux aérosols secondaires) et avoir un effet acidifiant (nitrification) (Meng et al, 2011).

e) Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est émis directement dans l'atmosphère lors des processus de combustion des hydrocarbures fossiles et de la biomasse (Lacressonniere, 2012). Le CO est un gaz toxique difficile à détecter car il est incolore, inodore, sans goût et n'irrite pas la peau (Lawrence et al, 2005), souvent qualifié de tueur silencieux. Le CO est un médiateur gazeux, qui est généré par une réaction enzymatique de l'hemi-oxygénase, et joue

un rôle physiologique dans la régulation de la respiration cellulaire et du flux sanguin dans le foie (Takada et al, 2014). Le monoxyde de carbone du point de vue de l'environnement contribue à l'acidification de l'air, des sols et des cours d'eau, affectant ainsi les écosystèmes. Il peut contribuer à la formation de l'ozone troposphérique (O₃), qui est dans l'air que nous respirons. Il peut également être transformé par réaction chimique en dioxyde de carbone (CO₂), qui est l'un des principaux gaz à effet de serre.

f) Dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ est un gaz à effet de serre émis par la combustion de produits organiques et des énergies fossiles. A court terme, il ne constitue pas une menace pour la santé ou la nature, son action néfaste se situe à moyen terme, à l'échelle planétaire, au niveau de l'effet de serre. Le CO₂ provient de tout phénomène de combustion, y compris la combustion biochimique de la nourriture par les êtres vivants. Le dioxyde de carbone joue un rôle central dans les systèmes atmosphérique, océanique et terrestre (Houghton, 2007; Denman, 2008). Environ 17% des émissions anthropiques totales depuis 1750 sont restées dans l'atmosphère, le reste est éliminé en raison de la noyade des océans et de la végétation (IPCC, 2014). Des impacts généraux sur les systèmes humains et naturels ont été documentés, tels que des températures de surface plus chaudes, le réchauffement de l'océan et un pH bas, la perte de masse de glace dans la cryosphère, l'élévation du niveau moyen de la mer et les changements (IPCC, cycle hydrologique mondial. 2014 ; Le Quéré et al, 2013). L'impact de l'augmentation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sur la biosphère comprend la modification des activités saisonnières, des schémas de migration et des modifications des interactions entre les espèces, ainsi que de la hausse des températures due au réchauffement climatique (Raupach et al, 2013).

g) Composés organiques volatils de types BTEX

Le Benzène, le Toluène, l'Éthylbenzène et les Xylènes, mieux connu sous l'acronyme de composés BTEX, sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques faisant partie des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). Ce sont des polluants de type anthropique, biogénique, ou mixte, et les composés pouvant résulter d'une activité photochimique. Les principales sources d'émission de BTEX dans l'atmosphère sont les échappements automobiles, les pertes par évaporation du carburant, le raffinage et le stockage du pétrole, les revêtements de surfaces, l'utilisation de solvants, les stations-service et les usines de béton bitumineux (Hoque et al, 2008; Buczynska et al, 2009; Gaur et al, 2016). BTEX agit comme un indicateur important pour évaluer le degré d'exposition du corps

humain aux COV (Marć et al, 2015). L'agence de protection de l'environnement des États-Unis a classé les composés de BTEX comme polluants atmosphériques dangereux pour l'homme (George et al, 2011).

Les effets sur la santé du benzène sont bien connus, comme l'exposition aiguë à court terme à l'inhalation d'un être humain au benzène peut causer une somnolence, des étourdissements, des maux de tête ainsi que des irritations des yeux, de la peau et des voies respiratoires et à des niveaux élevés d'inconscience (OSHA, 1977; ATSDR, 1997; Wadge, 1997). D'un point de vue environnemental, les composés organiques volatils qui sont constitués dans la classe de BTEX sont considérés comme des contributeurs au réchauffement climatique par le Groupe Intergouvernemental pour le Changement Climatique (GIEC) en raison de leur réactivité chimique et de leur potentiel de production d'ozone troposphérique et d'autres oxydants photochimiques (Majumdar et al, 2011; Brocco et al, 1997; Khoder, 2007).

h) Méthane (CH₄)

Le méthane est inodore, et non toxique. Il peut cependant provoquer des asphyxies en prenant la place de l'oxygène dans l'air. Rejeté dans l'atmosphère, il est reconnu comme l'un des principaux gaz à effet de serre, sa récupération en biogaz comme source d'énergie est donc conseillée pour limiter ses émissions. Le méthane est émis lors de pertes et de dégazage des installations charbonnières, pétrolières et gazières ainsi que lors de la combustion de la biomasse. Actuellement, les sources de CH₄ sont prédominantes dans l'hémisphère nord, avec un taux d'environ 1,75 ppm contre 1,65 ppm dans l'hémisphère sud (Delmas et al, 2005). Après le CO₂, le méthane est le compose le plus important dans la troposphère pour deux raisons : il possède un temps de vie long (08 ans) et ses propriétés d'absorption dans l'infrarouge font de lui un gaz à effet de serre.

I.6. Enjeux sanitaires et environnementaux

La pollution atmosphérique a des répercussions principalement sur notre santé et sur l'environnement. Ces impacts peuvent être immédiats ou à long terme.

I.6.1. Impact sur la santé humaine

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) dans ses lignes directrices relatives à la qualité de l'air extérieur, le fait de respirer de l'air pur est considéré comme une condition essentielle de la santé de l'homme. Cependant la pollution de l'air continue de faire peser une menace importante sur le plan sanitaire partout dans le monde. Plus de 2 millions de décès prématurés peuvent chaque année être attribués aux effets de la pollution de l'air à travers le monde (Communiqué de l'OMS publié à Genève, 2006). Le Centre international de recherche

sur le cancer (IARC), agence spécialisée de l'OMS, a également classé en 2013 la pollution de l'air extérieur et plus spécifiquement les particules comme cancérigènes (Loomis et al, 2014). Des études épidémiologiques ont montré à maintes reprises qu'il existait un lien entre la pollution atmosphérique, principalement due aux particules et aux gaz, et le nombre de maladies chez les personnes souffrant de problèmes respiratoires, ainsi que le nombre de décès dus à des maladies cardiovasculaires et respiratoires (Seaton et al, 1995 ; Gourgue et al, 2015).

En effet, les effets de la pollution sur la santé humaine peuvent se classer en deux catégories, les effets à court terme et les effets à long terme. Les effets à court terme correspondent aux effets cliniques survenant dans des délais brefs (quelques jours) après l'exposition à un épisode de pollution. Les effets à long terme qui peuvent survenir après une exposition chronique (plusieurs mois ou années) à la pollution atmosphérique et qui peuvent induire une surmortalité et une réduction de l'espérance de vie. Les effets à long terme restent mal connus car difficiles à évaluer. Cependant, certaines études américaines comparant les indices de mortalité des villes ayant la meilleure qualité d'air avec les plus polluées semblent confirmer l'action néfaste de la pollution (Nacer et al, 2009).

I.6.2. Impacts sanitaires des principaux polluants

Un polluant est un corps d'origine anthropique ou non, à l'état solide, liquide ou gazeux, contenu dans l'atmosphère et qui ne fait pas partie de la composition normale de l'air ou qui y est présent en quantité anormale. L'impact de la pollution dépend essentiellement du type et de la concentration des différents polluants, de la durée d'exposition à ces polluants, ainsi que de l'état de santé et de la morphologie des populations exposées. Suivant un critère de toxicité, de spécificité de sources et de la pollution générée, les principaux polluants mesurés par les organismes de surveillance de la qualité de l'air sont les oxydes d'azote (NO_X), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PS), le plomb (Pb), les composés organiques volatils (COV) et l'ozone (O₃). Le tableau I.2 résume les principaux polluants de l'air extérieur et impacts sur la santé (Roue-le Gall et al, 2014).

Tableau I.2: Principaux polluants de l'air extérieur et impacts sur la santé.

Polluants	Effets nocifs pour la santé
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Irritation et spasmes des bronches pouvant survenir à partir de 2 ppm (parties par million) chez le sujet sain, à partir de 0,2 ppm chez l'asthmatique.
Oxyde d'azote (NO, NO ₂)	Irritation des bronches et augmentation des crises d'asthme.
Particules en Suspension (PM ₁₀)	Irritation des bronches, altération de la fonction respiratoire, aggravation de l'asthme, effets cancérigènes notamment dans le cas des particules diesel, implication des particules diesel dans la sensibilisation aux allergènes, par exemple à certains pollens responsables de rhinites allergiques.
Monoxyde de carbone (CO)	Réduction de la capacité du sang à transporter l'oxygène, d'où troubles cardiaques, respiratoires, sensoriels et surtout nerveux (cérébraux). Risque d'asphyxie.
Composés Organiques Volatils (COV) dont benzène	 Effets mutagènes et cancérigènes, irritation des bronches. Très dangereux sur la santé surtout les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).
Ozone (O ₃)	 Excès à basse altitude : irritation des yeux et des bronches ; toux, essoufflement, chez les asthmatiques abaissements du seuil de réactivité aux allergènes et majoration de l'hyperréactivité bronchique. Diminution de la couche d'ozone à haute altitude (à 25 km d'altitude) : risque de développement des cancers de la peau, d'effets nocifs pour les yeux, et d'affaiblissement du système immunitaire à l'égard des infections.
Gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone (CO ₂)	 Toxique à faible dose, mais à forte dose, peut provoquer des malaises, des maux de tête et des asphyxies, peut également perturber le rythme cardiaque et la pression sanguine. Constituant un des principaux gaz à effet de serre, le CO₂ participe au phénomène du changement climatique et à ses impacts notamment sanitaires.

I.6.3. Impacts environnementaux

La pollution atmosphérique, génératrice de problèmes pour la santé de l'homme, son milieu de vie et la nature, est également génératrice de problèmes plus globaux au niveau planétaire. Elle peut en effet être à l'origine de dérèglements naturels, sociologiques, voire politiques (déplacements de population, par exemple). Nous ne pouvons pas parler de la pollution de l'air sans évoquer le phénomène de l'Effet de Serre, l'amenuisement de la couche d'ozone ou les pluies acides.

a) Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est l'augmentation de la température moyenne à la surface de la planète. Il est dû aux gaz à effet de serre (CO₂, NO₂, O₃, CH₄, CFC) rejetés par les activités humaines et piégés dans l'atmosphère. Ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuant à l'effet de serre (Ngo, 2008). De ce fait, un surplus d'émission de gaz à effet de serre implique un surplus d'énergie au sein du système, ce qui se traduit, entre autres, par une hausse des températures à la surface de la Terre. Les différents gaz à effet de serre n'ont pas tous la même efficacité. On caractérise un composé à l'aide de son Pouvoir de Réchauffement Global (PRG), qui permet de définir l'efficacité d'un gaz par rapport au CO₂ ayant un PRG de 1. Par exemple, le méthane a un PRG (Potentiel de réchauffement global) de 28, ce qui veut dire que le méthane à un impact au réchauffement 28 fois plus important que celui du CO₂ (Edenhofer et al, 2015). Selon les prévisions du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) compte tenu du rythme de croissance actuel, la température moyenne du globe augmentera d'environ 3°C d'ici 2100, il est possible que la hausse soit plus marquée. En outre, il prévoit une hausse de 50% des émissions de gaz à effet de serre (GES). Toutefois, ces experts pensent que pour limiter les conséquences, nous devons parvenir à la stabilité la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) 400ppmv maximale, ce qui correspond à un réchauffement de la planète d'environ $+2^{\circ}$ C (Lô, 2008).

b) Pluies acides

Le phénomène des pluies acides est observé depuis le début des années 50 dans l'ensemble des régions industrialisées du monde. Les pluies acides est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. Elles peuvent tomber à des centaines de kilomètres du lieu d'émission des polluants. Elles affectent gravement les

écosystèmes et certains matériaux utilisés dans les bâtiments (Stocker et al, 2014). D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles. Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides. L'appauvrissement du sol en raison d'un lessivage accru en milieu acide entraine des carences nutritives et engendre des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres (Ngo et al, 2008).

c) Effets sur le climat

Les particulaires en suspension et les polluants gazeux réduisent la visibilité. Les petites particules dispersent la lumière tandis que certains gaz, comme le dioxyde d'azote, en absorbent une partie. Il existe aussi une relation étroite entre la visibilité et la concentration des particules en suspension. La réduction de la visibilité est, parmi les effets de la pollution atmosphérique, celui qui est perçu le plus largement par la population. La pollution atmosphérique affecte aussi la formation des nuages et des brouillards, les précipitations, ainsi que l'ensoleillement de la surface terrestre. Le climat urbain est entre autres largement affecté par la modification de ces facteurs météorologiques (Coparly, 2002).

d) Couche d'ozone

La couche d'ozone est une mince couche gazeuse stratosphérique, où la concentration d'ozone (O₃) est maximale, protégeant la surface terrestre du rayonnement ultraviolet solaire. Elle se trouve entre 20 et 30 km d'altitude. Elle est extrêmement fragile du fait de sa faible concentration en ozone (O₃). Cependant, la pollution entraîne une destruction de cette couche d'ozone en rejetant certains composés chlorés tels que les chlorofluorocarbones (CFC), qui sont des composés très stables, non toxiques et très commodes à utiliser comme fluides frigorigènes ou gaz propulseurs dans les produits conditionnés sous forme d'aérosols sous pression (Ngo et al, 2008). Cela expose ainsi les hommes aux rayons solaires et provoque de nombreux problèmes tels que maladies de la peau (Medina et al, 2005). Parmi les polluants de la couche d'ozone stratosphérique, il y a les hydrocarbures halogènes dont les chlorofluorocarbures (CFC), le méthane (CH₄), l'oxyde de carbone (CO) et le gaz carbonique (CO₂).

I.6.4. Impacts environnementaux des principaux polluants

La pollution atmosphérique a des effets sur l'environnement et donc des répercussions économiques. Le tableau I.3 résume différents impacts et les contributions des principaux polluants atmosphériques sur l'environnement.

Tableau I.3: Impacts des principaux polluants sur l'environnement.

Polluants	Impacts sur l'environnement
Dioxyde de soufre (SO ₂)	 Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments
Oxyde d'azote (NO, NO ₂)	 Participation au phénomène des pluies acides. Participation à la formation de l'ozone troposphérique (celui des basses couches). Atteinte de la couche d'ozone stratosphérique. Participation à l'augmentation de l'effet de serre.
Particules en Suspension (PM ₁₀)	Effets de salissure des monuments et bâtiments.Participation au changement climatique.
Monoxyde de carbone (CO)	- Participation à la formation de l'ozone troposphérique dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone (CO ₂).
Composés Organiques Volatils (COV)	 Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote). Participation indirecte à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd)	 Contamination des sols et des aliments. Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
Ozone (O ₃)	 Diminution des rendements agricoles. Dégradation des matériaux (caoutchouc par exemple). Participation à l'augmentation de l'effet de serre.

I.7. Étapes de dispersion des polluants

Les polluants primaires, comme les NO_X, le SO₂ le CO, les PM et COV), sont directement émis dans l'atmosphère (Diaf et al, 2003). L'existence de ces polluants dans l'atmosphère est rythmée par quatre étapes :

- Émission dans l'atmosphère.
- Dispersion et son transport par le vent.
- Interactions avec d'autres substances ou radiations et éventuelles transformations, avec production d'une pollution secondaire.
- Interaction avec d'autres milieux, par dépôt ou émission.

Le phénomène de dispersion, c'est-à-dire le déplacement des polluants depuis la source, est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau...) (Diaf et al, 2003).

I.8. Paramètres influençant la qualité de l'air

La qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources. Elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu (Seaman, 2000). Une fois émis par une source de polluant, son évolution dans l'atmosphère est dépendante du vent, de la stabilité de l'atmosphère, du rayonnement solaire, de la topographie et morphologie du milieu (Seaman, 2000).

I.8.1. Influence du vent

Le vent est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. Il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse (Diaf et al, 2003). L''influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Généralement la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion est facilitée par le vent. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (Diaf et al, 2003).

Au niveau de la sous-couche rugueuse, les frictions contre la surface du terrain influent sur la vitesse et la direction du vent. L'écoulement de l'air est fortement turbulent, hétérogène et instationnaire. Lesieur définit la turbulence comme un système dynamique imprévisible, désordonné, possédant de fortes propriétés de mélange, un caractère dissipatif et faisant intervenir une très large gamme d'échelles spatiales (Lesieur, 1994). Responsable de la dispersion horizontale des polluants, le vent intervient à toutes les échelles tant par sa

direction que par sa vitesse. A l'échelle urbaine, l'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas, en revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (Deletraz, 2002).

I.8.2. Influence de la stabilité de l'atmosphère

La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches (Rahel, 2015). Une atmosphère est stable si une masse d'air, écartée de sa position d'équilibre, a tendance à revenir. Elle est instable dans le cas contraire. Ces déplacements d'air sont guidés par des lois thermodynamiques. Si la masse d'air soulevée est plus froide que le milieu environnant, elle sera plus dense et donc redescendra à son niveau de départ (atmosphère stable). Si la masse d'air soulevée est plus chaude que le milieu environnant, elle sera plus légère et subira donc une élévation (atmosphère instable). Ainsi la stabilité d'une masse d'air dépend de sa température de l'élévation, relative à la température de l'air environnant stationnaire qu'elle traverse (Ung, 2003 ; (Rahel, 2015). La structure thermique verticale de la troposphère tient alors une part importante dans le mélange vertical des masses d'air, et par conséquent la dilution des polluants (Diaf et al, 2003 ; Joos, 1990).

I.8.3. Influence des précipitations

Lors d'une précipitation, des polluants gazeux ou particulaires sont captés par les gouttes de nuage ou de pluie dans le nuage. Les polluants gazeux sont captés par dissolution dans la phase aqueuse. Les polluants particulaires sont captés lorsque la particule entre en collision avec une goutte de nuage ou de pluie. Les particules jouent le rôle de noyaux de condensation pour des gouttes de nuage qui peuvent ensuite devenir des gouttes de pluie et les polluants présents dans ces particules sont donc incorporés dans ces gouttes (Seigneur, 2011). La précipitation contribue au lessivage de certains polluants entre la surface de la terre et la base du nuage (Seigneur, 2011). Ce lessivage a lieu pour les polluants gazeux qui sont solubles dans l'eau et pour les particules qui entrent en collision avec les gouttes de pluie. Plus un polluant gazeux n'est soluble, mieux il sera lessivé. De plus, les précipitations se montrent encore favorables à la dispersion des polluants, par le fait qu'elles provoquent le brassage de l'air et engendrent par conséquent des turbulences et l'instabilité des basses couches atmosphériques.

I.8.4. Influence de l'humidité

L'humidité, non seulement de l'atmosphère, mais aussi du sol, influence les concentrations des polluants (Elie, 2010). Elle joue un rôle clé dans la formation de certains polluants comme

l'acide sulfurique (brouillard acide) et leur élimination (dépôts humides). L'humidité intervient également dans les effets des polluants (détérioration des matériaux par corrosion, augmentation de la sensibilité de certains végétaux avec l'humidité, ...) (Elie, 2010). Le taux d'humidité varie avec le milieu (rural, urbain, ...), suite à différents facteurs (évapotranspiration des plantes, vapeur rejetée par les combustions d'origine anthropique).

I.8.5. Influence de la topographie locale

La surface terrestre est à l'origine de turbulences atmosphériques au niveau de la sous-couche rugueuse. Ces turbulences peuvent être d'origine thermique, due à l'instabilité thermique des masses d'air, ou d'origine mécanique, due aux obstacles présents à la surface. Les perturbations de l'air, entraînant une dispersion des polluants, s'étendent verticalement jusqu'à près de trois fois la hauteur de l'obstacle, et horizontalement jusqu'à quarante fois la hauteur dans la zone sous le vent (Brooks, 1990). C'est donc la taille, la forme, la densité des obstacles et son environnement qui conditionnent l'écoulement de l'air à la surface de la terre, son temps de résidence et les échanges avec la couche limite.

I.9. Dispersion des polluants

La dispersion des polluants dans l'atmosphère s'effectue essentiellement dans la couche limite atmosphérique qui s'étend du sol jusqu'à 1 ou 2 km d'altitude, couche la plus troublée, et sans cesse, par des mouvements turbulents tant horizontaux que verticaux (Diaf et al, 2003). La dispersion des polluants atmosphériques dépend des processus météorologiques, l'advection et la convection des masses d'air (Michelot, L'advection désigne les mouvements horizontaux des masses d'air, liés le plus souvent au vent. La vitesse du vent influence directement les niveaux et la distribution des concentrations de polluants émis ou formés in situ. Un vent élevé (supérieur à 4 m/s), favorise la dispersion de polluants, alors qu'un vent faible (inférieur à 1 m/s) peut amener à des concentrations particulièrement élevées (Puente-Lelievre, 2009). Les processus de convections définissent les mouvements verticaux des masses d'air qui sont dus aux échanges de chaleur. L'ensoleillement provoque un réchauffement des sols et des surfaces, entraînant des phénomènes de mouvements verticaux des masses d'air (Puente-Lelievre, 2009).

Ainsi, une situation anticyclonique, caractérisée par des vents faibles, limite la dispersion horizontale (Rahel, 2015). En hiver, des températures basses et un ciel dégagé favorisent de plus l'inversion du gradient thermique vertical (présence d'air plus chaud en altitude qu'au sol), ce qui diminue la dispersion verticale. Cette situation favorise des niveaux de pollution élevés car elle entraîne une accumulation des gaz, et conduit ainsi à des pics de pollution.

A l'inverse, une situation dépressionnaire, généralement associée à des vents plus sensibles, permet une bonne dilution des polluants dans l'atmosphère. De plus, les précipitations, entraînant le dépôt humide des polluants (phénomène de lessivage), contribuent à la diminution des concentrations.

I.10. Mécanismes naturels d'élimination des polluants

Les conditions météorologiques gouvernent l'intensité de la turbulence proche de la surface ce qui détermine la vitesse à laquelle les composés sont amenés près de la surface (Roupsard et al, 2013). Les propriétés physico-chimiques de la surface (feuilles de la végétation, sol, etc.) déterminent la quantité et la vitesse à laquelle les polluants vont être déposés. Le dépôt humide correspond à l'élimination d'un composé par l'intermédiaire de la pluie, nous distinguons deux processus différents pour éliminer les polluants de l'atmosphère (Roupsard et al, 2013) :

- Processus correspond à la dissolution du gaz considéré dans les gouttes d'eau au moment de la formation de ces dernières.
- Processus correspond à la collecte du gaz par les gouttes lors de leur chute.

I.11. Mode d'émission

Pour une capacité de confinement donnée, les modes d'émission peuvent être variées. Il peut s'agir aussi une fuite très faible débit à travers une ouverture de la taille d'une pointe d'aiguille que d'une émission presque instantanément de la totalité du fluide. Généralement, les modes d'émission peuvent être classés en deux grades catégories. Les émissions instantanées qui correspondant à un ravage contenant et les émissions continues qui correspondant toutes les autres types de rupture.

I.11.1. Émission instantanée

La ruine consiste en la rupture totale du confinement entraînant un relâchement immédiat et instantané de la totalité du contenu (Bouscaren, 1999). Les émissions de type instantané sont principalement caractérisées par la quantité émise à l'atmosphère et la pression de la capacité au moment de la rupture (éclatement) (Bouscaren, 1999). Cette dernière peut être différente de la pression de stockage dans certains cas. Lors d'une émission instantanée de gaz, en l'absence d'obstacle de taille significative à proximité, l'extension initiale du nuage est relativement isotrope. Il en résulte un volume gazeux sphérique, ou semi-sphérique si l'émission a lieu au niveau du sol.

I.11.2. Émission continue

La fuite continue se produit à partir d'une conduite ou d'une cuve de stockage ou de l'émission par une cheminée d'extraction (Bouscaren, 1999). La fuite va principalement dépendre des conditions de stockage au moment de la fuite mais aussi de la taille, de la géométrie et de la hauteur de l'ouverture de fuite (Bouscaren, 1999). A partir de ces données, il est possible d'estimer un terme-source (débit, vitesse, température... du rejet). Pour un rejet à partir d'un réservoir, le débit varie généralement dans le temps puisque durant la vidange du réservoir, la quantité de produit stocké diminue, la pression de fuite s'atténue dans le temps. Le panache est dans la plupart des cas de forme allongée.

I.12. Règlementations et directives de gestion de la qualité de l'air ambiant

En raison du caractère dangereux des différents polluants et la dégradation de la qualité de l'air provoquant une dégradation de la santé des populations, la surveillance de la qualité l'air est devenue une nécessité. Cette surveillance a débuté au début des années 60 pour ce qui concerne les dépositions des particules, puis elle a été remplacée, au début des années 70, par la surveillance de polluants gazeux, cette surveillance a été organisée par l'apparition des réglementations et directives de gestion de la qualité de l'air ambiant dans le monde.

I.12.1. Lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé

Au niveau mondial, l'OMS publie des lignes directrices relatives à la qualité de l'air extérieur (Squilbin et al, 2015) afin de protéger la santé humaine des effets néfastes de la pollution atmosphérique. Les directives sont technologiquement pratiques et tiennent compte des contraintes sociales et économiques. Ces documents se basent sur une grande quantité de données scientifiques. L'OMS préconise ainsi des niveaux de pollution à ne pas dépasser pour certains polluants tels que le dioxyde d'azote, monoxyde de carbone, les xylènes, l'éthylbenzène et les aérosols. Pour les aérosols par exemple, on trouve deux recommandations, une pour les PM₁₀ et l'autre pour les PM_{2.5}. Ces lignes directrices sont des valeurs indicatives à ne pas dépasser. Il existe également des valeurs intermédiaires pour chaque polluant permettant aux états d'avoir un objectif intermédiaire. L'OMS indique cependant que l'objectif final de la gestion de la qualité de l'air devrait tendre vers ces valeurs indicatives, comme indiqué dans le tableau I.4.

Tableau I.4: Valeurs limites recommandées par l'OMS.

PM ₁₀	20 μg/m ³ en moyenne annuelle	50 μg/m ³ en moyenne sur 24 heurs
NO_2	$40 \mu g/m^3 $ en moyenne annuelle	200 μg/m³ en moyenne horaire
CO	/	30 mg/m³ en moyenne horaire
Xylènes	/	4,8 mg/m ³ en moyenne sur 24 heurs
Éthylbenzène	22 mg/m³ en moyenne annuelle	/

I.12.2. Directives européennes

A l'échelle européenne, les institutions votent des directives fixant des seuils réglementaires concernant les concentrations de polluants. Les directives européennes sont des indications à respecter. La directive 2001/81/CE¹ est par exemple une directive sur les plafonds d'émissions nationaux. Le tableau I.5 présente certains seuils réglementaires européens pour les concentrations de polluants gazeux et particules.

Tableau I.5: Valeurs limites recommandées par l'UE (Union Européenne).

NO ₂	40 μg/m³ en moyenne annuelle	400 μg/m³ en moyenne horaire
CO	/	30 000 μg/m³ en moyenne horaire
C_6H_6	02 μg/m³ en moyenne annuelle	/

<u>Remarques</u>: En raison de l'absence de norme nationale ou européenne relative aux concentrations d'ammoniac (NH₃) dans l'air ambiant, la valeur recommandée par l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis (US - EPA) fixée à $100~\mu g/m^3$ en moyenne annuelle est retenue comme valeur de référence.

I.12.3. Réglementation Algérienne

L'Algérie a de tout temps été un acteur actif et engagé dans ce processus comme en témoigne sa ratification des accords sur les changements climatiques, dont le dernier a été ratifié par le décret présidentiel n°16-262² portant ratification de l'accord de Paris sur les changements climatiques adopté à Paris en 2015. Afin de renforcer son engagement en faveur de la réduction des émissions atmosphériques, le législateur Algérien a élaboré le décret exécutif n° 06-02³ définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. Le tableau I.6 reprenant certains valeurs limites réglementaires Algérienne pour les concentrations de NO₂ et les particules fines en suspension.

Tableau I.6: Valeurs limites et objectifs de qualité de l'air réglementaires par le décret exécutif n° 06-02.

	Valeur limite (µg/m³)	Objectif de qualité (µg/m³)
Particules fines en suspension	80 en moyenne annuelle	50 en moyenne annuelle
NO_2	200 en moyenne annuelle	135 en moyenne annuelle

I.13. Conclusion

Depuis une vingtaine d'années, la pollution atmosphérique est devenue pour les décideurs un sujet de préoccupation de premier ordre. L'augmentation de l'intensité des installations industrielles dans le monde a fait de la pollution atmosphérique un problème environnemental majeur. Ainsi en ce début de XXIème siècle, de nombreuses normes sont en places et constituent de forts moyens d'action pour limiter les émissions atmosphériques, notamment d'origines industrielles.

Les effets de ces mesures se manifestent déjà par une nette réduction des principaux polluants. Avec l'amélioration des moyens de surveillance et développement de modèles de dispersion, en appui des limitations d'émission, dans un système de solution visant à réduire les émissions et à gérer les conséquences de la pollution. Ainsi, cette introduction à la problématique de la pollution de l'air a permis de présenter le contexte général dans lequel s'instaure l'utilisation des outils de contrôle et plus particulièrement son utilisation dans le secteur de l'industrie.

 $^{^{1.}\,}https://www.cc.lu/uploads/tx_userccavis/5008MJE_Polluants_Atmospheriques.pdf$

². http://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC161468

^{3.} http://www.energy.gov.dz/fr/legis/envir 06-02.htm

CHAPITRE II

Zone d'Étude, Matériels et Méthodes de Mesures

L'étude expérimentale débute dans le chapitre II, par une présentation de la zone d'étude et le contexte climatique dans la région d'Arzew, ainsi que des principales sources d'émissions atmosphériques générées par les activités industrielles du pôle industriel d'Arzew. Dans la dernière partie, nous y présentons aussi une description les méthodes mesures actuelles de la surveillance de la qualité de l'air ambiant.

II.1. Situation géographique de la région d'Arzew

La ville d'Arzew est située à 42 Km, au nord-est de la wilaya d'Oran et à 47 Km à l'ouest de Mostaganem. La ville et son pôle industriel sont situés dans la partie ouest de la baie qui porte son nom, avec les coordonnées (Latitude/Longitude) ; 0°19'.17" Ouest et 35°51'.61" Nord. Limitée au Nord de la mer Méditerranée et du Sud-Est par la commune de Ain El Bia et l'Ouest par la commune de Sidi Benyebeka et Hassi Mefsoukh.

Sur le plan spatial la ville d'Arzew occupe un site aux reliefs désarticulés. Toute la partie nord est occupée par des massifs côtiers orientés Sud-Ouest/Nord-Est formant une chaîne discontinue dont l'altitude atteint 600 mètres au niveau du Djebel Orrousse. Au sud de cette chaîne se trouvent les plaines littorales dont une bonne partie. Elle doit son importance à la zone industrielle et au port qui la dessert, qui longe la côte orientée Nord-Ouest Sud-Est qui s'étend sur environ 08Km jusqu'au port d'Arzew. La zone industrielle, installée depuis 1961, s'étend principalement sur les terres agricoles situées le long de la côte de l'aire urbaine d'Arzew, de Béthioua et de Mersa El Hadjaj et sa topographie favorise l'orientation du terrain naturelle du Nord vers le Sud avec des altitudes qui varient entre 04 m et 600 m.

II.2. Contexte climatologique de la région d'Arzew

Le littoral de l'Algérie qui est bordé par la mer méditerranée et jouit d'un « climat méditerranéen ». Le régime caractérisant ce type de climat est pluvieux en saison froide et sec en été. Cette appellation de « climat méditerranéen » ne constitue qu'une première approche en raison de l'existence de multiples microclimats locaux régis aussi bien par des conditions atmosphériques que topographiques ou géographiques (Bahi, 2012). Concernant les aspects du climat de l'Oranie ont été analysés par plusieurs auteurs, en démontrant ses effets contraignants sur le milieu naturel et sur l'environnement socioéconomiques. Une étude a mis en évidence, après traitement des données météorologiques d'Oran sur plus de 60 ans (1924-1984), quatre périodes climatiques (grâce à la méthode des précipitations cumulées), dont la tendance se situerait soit au-dessous du volume des précipitations moyennes, soit en dessus (Aime, 1991).

La zone industrielle d'Arzew, située en bordure du littoral est sous l'influence du climat Méditerranéen, avec une alternance de deux saisons. La période estivale, la plus longue, est chaude, généralement sèche. La période hivernale par contre est froide avec des pluies irrégulières et parfois des averses violentes mais de courte durée. Ces variations saisonnières de climat sont commandées par la position respective des anticyclones et dépressions au-dessus de cette partie du bassin méditerranéen.

II.2.1. Conditions météorologiques dans la zone d'étude

Les conditions météorologiques telles que la stabilité de la couche limite atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, la température, l'humidité, les turbulences et les précipitations peuvent avoir un impact sur les conditions de dispersion de la pollution atmosphérique (Seaman, 2000). Certains paramètres favorisent la dispersion telle que les vents forts et le lessivage des polluants, d'autres au contraire vont favoriser leur accumulation comme la haute pression, l'inversion de température et la stabilité atmosphérique, ou leur formation comme l'ensoleillement (Diaf et al, 2003). Dans ce contexte, nous avons traité certains paramètres qui caractérisent au mieux le climat de la région d'Arzew tels que la pluviométrie, la température, l'humidité, la vitesse des vents et la direction des vents. Ces données météorologiques sont fournies par le Office National de la Météorologie (ONM) sur une période s'étalant de l'ouverture de la station en 2010 jusqu'en 2019.

II.2.1.1. Pluviométrie

La connaissance de la répartition pluviométrique dans le temps et dans l'espace est importante car l'énergie des gouttes d'eau désagrège les agrégats et détache des émissions par le phénomène "Splash " et fournit ainsi un produit susceptible d'être transporté par l'eau ou par le vent (Smahi, 2000). Dans la région d'Oran les précipitations sont variables sur une année et d'une année à l'autre. Ces variations s'expliquent par l'existence d'importants gradients de précipitations dans le pays. Un gradient de précipitations longitudinal dans la figure II.1 explique que les pluies augmentent en allant d'Ouest en Est (Djellouli, 1990).

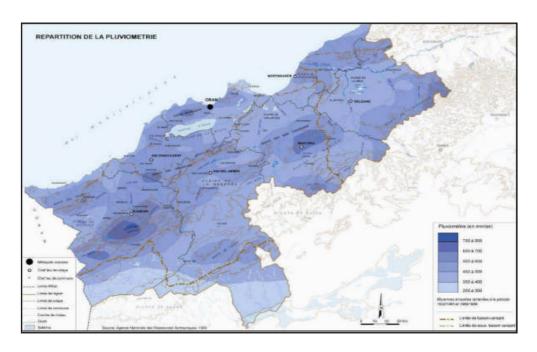


Figure IL1: Répartition de la pluviométrie dans la wilaya d'Oran et ses environs.

Le littoral d'Arzew est la partie la moins arrosée de l'Algérie maritime à cause de la latitude de la côte oranaise qui se situe à la même latitude que les hautes plaines et des vents frais chargés de l'humidité de l'atlantique. Une variabilité est remarquée sur la répartition annuelle des précipitations sur la région d'Arzew. Le tableau II.1 représente les pluviométriques moyennes annuelles dans la région d'Arzew.

Tableau IL1: Répartition moyenne interannuelle des pluviométries dans la région Arzew.

Années	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Pluviométrique (mm)	199	193	221	196	113	121	150	104	215	207

Les précipitations moyennes des pluviométries ont été calculées sur la base de données recueillies par l'ONM et couvrant la période s'étalant entre 2010 et 2019.

La série de précipitations sur cette période donne les statistiques pluviométriques suivantes :

- Valeur Moyenne: 172 mm.
- Valeur moyenne maximale : 2015 mm en 2018.
- Valeur moyenne minimale: 104 mm en 2017.
- Période assez arrosée 2010 à 2013 et 2018 à 2019.
- Période moins arrosée 2014 à 2017.

II.2.1.2. Température de l'air

Elle correspond à un élément fondamental en Océanographie. Ce facteur contrôle en surface l'intensité des échanges mer-atmosphère et conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers, est également l'un des facteurs constitutifs du climat. La température a un rôle important sur l'ETR (évapotranspiration réelle) et l'ETP (évapotranspiration potentielle) (Latrous et al, 2004). Le tableau II.2 présente les températures moyennes, maximales et minimales dans la région d'Arzew sur une période entre 2010 et 2018.

Tableau II.2 : Répartition moyenne interannuelle des températures dans la région Arzew.

Années	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Température (°C)	19	19,1	18,8	19,3	20,3	19,6	19	19,2	20	19,4

Dans la région d'Arzew, les températures annuelle moyenne sont modérées et varient de 19 à 20 ° C et la température entre 2010 et 2018 est de 19,7 ° C. Les températures les plus basses ont été enregistrées entre 2010, 2013, coïncidant avec des périodes de précipitations, tandis qu'une tendance à la hausse de la température a été enregistrée en 2014 et 2018.

II.2.1.3. Humidité relative de l'air

La zone côtière d'Arzew présente une humidité relative de l'air de plus de 65 % au cours de la période comprise entre 2010-2019. Le tableau II.3 résume la variation de l'humidité relative moyenne annuelle dans la région d'Arzew.

Tableau II.3: Répartition moyenne interannuelle d'humidités relative dans la région d'Arzew.

Années	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Humidité (%)	68	66	70	67	60	65	63	63	60	64

Les variations de degrés hygrométriques moyens annuels montrent que l'humidité relative de l'air moyenne dans la région d'Arzew est d'environ 65 %, avec une moyenne de minimums de 60 % et une moyenne des maximums de 70 %.

II.2.1.4. Régime des vents

La position et le déplacement de l'anticyclone des Açores (Leduc et al, 1985) déterminent en particulier le régime des vents dans toute cette zone. En hiver, alors qu'il existe de hautes pressions sur le Tell et l'Atlas Saharien, la prédominance des vents sur le littoral est de secteur Ouest. En été, ce sont les vents du secteur Est à Nord qui dominent.

Dans la région d'Oran, au cours de la période considérée (1931-2004) à travers de l'ONM, les données météorologiques montrent que la région d'Arzew a un vent de référence de vitesse maximale moyenne d'environ 45 km/h, soit 13 m/s (Latrous et al, 2004). En hiver et au printemps, certains vents d'Ouest dépassent parfois des vitesses de 70 km/h (environ 20 m/s) dans cette région (Latrous et al, 2004). Le tableau II.4 représente la répartition moyenne annuelle de la vitesse du vent et la direction du vent dominant.

Tableau II.4 : Répartition moyenne interannuelle de la vitesse et direction du vent dans la région Arzew.

Années	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Vitesse des vents (m/s)	8	7,5	7,4	7,5	7,2	7,5	6,5	7,4	8,2	7,9
Vents dominant (fréquence)	N SW	NE SW	NNE SW	NE SW	NNE SW	NE SW	W SW	NNE SW	NNE SW	NNE SW

La vitesse moyenne arithmétique entre 2010 et 2019 est de l'ordre7,5 m/s. Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 7,2 à 7,5 m/s, tandis que les vents les moins fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 7,9 à 8,2 m/s. La figure II.2 montre la rose des vents à partir du vent maximal quotidien durant de la période considérée (2010-2019). Les vents dominants au cours de cette période dans la région d'Arzew se situent dans les secteurs Nord-Nord-Est et Sud-Ouest.

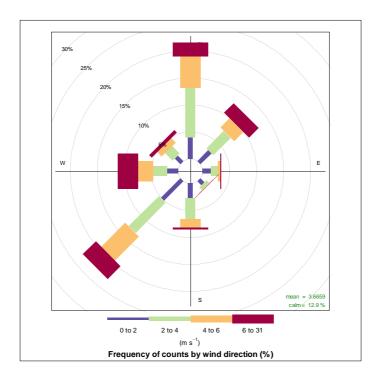


Figure IL2: Rose des vents dans la région d'Arzew (2010-2019).

II.3. Présentation de la zone industrielle d'Arzew

L'industrie algérienne est l'un des piliers de l'économie algérienne, en particulier l'industrie des hydrocarbures et pétrochimique, sous l'égide de la société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures (SONATRACH).

Avant la création de la zone industrielle, la côte Est été bordée de plages et de dunes vives sur presque toute sa longueur et s'appuyée sur un riche arrière-pays agricole, alors que la pêche côtière était pratiquée au port d'Arzew (Kacemi, 2006). La zone industrielle d'Arzew a été établie lorsque l'Algérie a commencé à développer son secteur pétrolier et sa base industrielle générale au début des années 1960. Le pôle industriel d'Arzew est un vaste complexe industriel situé dans la région d'Oran, Nord-Ouest de l'Algérie, comme la monter la figure II.3, qui s'étend sur une superficie de 2800 hectares, comprend également deux ports,

Chapitre II – Zone d'Étude, Matériels et Méthodes de Mesures

s'étend sur une distance de 12 km le long de la baie d'Arzew. Le pôle industriel comprend également les unités de services industriels suivants :

- Deux unités de stockage aérien de grandes capacités en produits hydrocarbures les plus variés (RTO).
- Terminaux gazier et pétrolier (réseau de pipes provenant des champs de Hassi-R'mel et Haoud Hamra).
- Deux centrales électriques (Centrale thermique et Khahrama) dont une est combinée à une unité de dessalement d'eau de mer.
- Deux ports pétrolier et gazier (port d'Arzew et Port de Bethioua).

Cet emplacement stratégique permet une exportation aisée de produits industriels, notamment d'hydrocarbures et pétrochimies sous différentes formes. Les complexes de production et les unités industrielles décrits ci-dessus, sont illustrés dans la figure II.4.



Figure II.3: Image satellitaire de la zone industrielle d'Arzew.

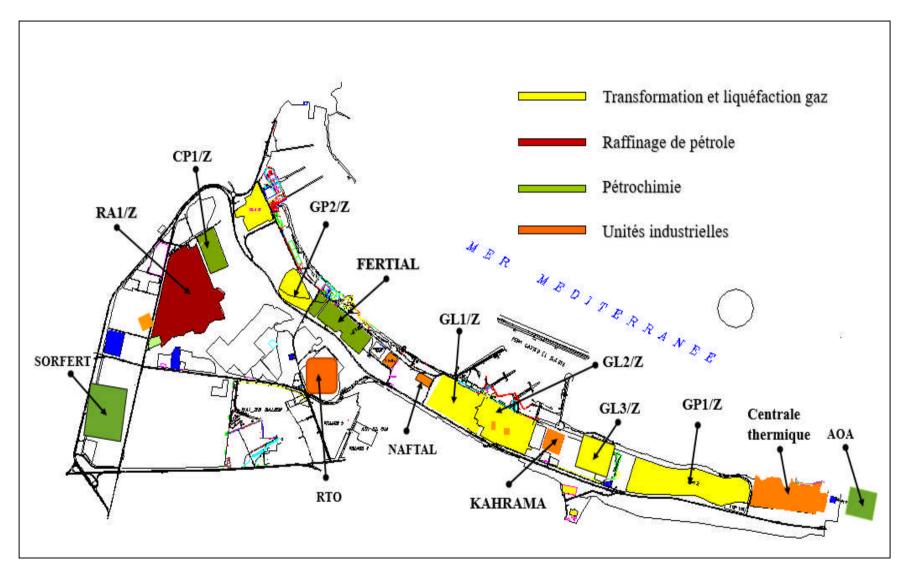


Figure IL4: Localisation de complexes industriels et d'unités dans le pôle industriel d'Arzew.

II.4. Principales émissions atmosphériques industrielles d'Arzew

La zone industrielle d'Arzew est responsable d'émission d'une grande diversité de polluants atmosphériques, en raison du grand nombre de points d'émission atmosphérique résultant d'activités industrielles qui peuvent être nuisibles pour l'environnement ou constituer un risque pour la santé des travailleurs et la santé des résidents dans les zones environnantes.

L'absence de réseaux de mesures des émissions atmosphériques dans l'air ambiant au niveau de la plateforme de la zone industrielle d'Arzew et de son environnement contribue à la méconnaissance des phénomènes induits par les émissions gazeuses et des impacts réels sur la qualité de l'air ambiant. Les seules données approximatives disponibles concernent un inventaire non exhaustif des sources de pollution sont présenté dans le tableau II.5.

Tableau II.5: Principales émissions atmosphériques industrielles d'Arzew.

Secteur	Complexe	Nature des émissions
Raffinage de pétrole brut	RAF1/Z	NO _X / CO/ CO ₂ / SO ₂ /H ₂ S/COV
	NAFTAL	$NO_X/CO/CO_2/SO_2$
	GP1/Z	NO _X /CO /CO ₂ / SO ₂
Tuonaformodias	GP2/Z	
Transformation et liquéfaction du gaz (GNL et GPL)	GNL1/Z	
	GNL2/Z	NO _X /CO/ CO ₂
	GNL3/Z	
	FERTIAL	<u> </u>
Pétrochimie	AOA	NO _X / CO/ CO ₂ /NH ₃
(Ammoniac et Méthanol)	SORFERT	
	CP1/Z	NO _X / CO/ CO ₂ / SO ₂
Unités de stockage de pétrole brut	RTO	NO _X / CO/ CO ₂ / SO ₂ /H ₂ S/COV

Source: EIE-SH (Études d'Impacts Environnementale-SONATRACH)

II.5. Système de surveillance de la qualité de l'air

Pour comprendre et prévenir la pollution atmosphérique, pour en évaluer les sources, préserver la santé, contribuer à la lutte contre l'effet de serre, la surveillance de la qualité de l'air est un outil essentiel des politiques d'environnement des collectivités, des grandes entreprises publiques et privées, des états et des organisations internationales. Pour une surveillance précise de la qualité de l'air, nous proposons un système de surveillance de la qualité de l'air représentés dans une gamme d'analyseurs et logiciels.

II.5.1. Station de mesure

La surveillance de la qualité de l'air ambiant au niveau dans la plate-forme de la zone industrielle d'Arzew a été basée sur les données délivrées par les dispositifs de mesures de la qualité de l'air. Ces instruments de mesure, comme le montre la figure II.5, permettent de surveiller les concentrations de polluants gazeux et poussières en temps réel tels que le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), l'ammoniac (NH₃), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) tels que le benzène, toluène, éthylbenzène et les xylènes, mieux connu sous l'acronyme de composés BTEX et le gaz à effet de serre (CO₂), additivement aux particules en suspension (PM₁₀).



Figure IL5: Station de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

II.5.2. Instruments de mesure et techniques d'analyse

Laboratoire de surveillance de la qualité de l'air ambiant est composé de plusieurs transducteurs et analyseurs utilisant diverses techniques de mesure. Les analyseurs automatiques permettent un suivi en continu des niveaux de pollution heure par heure et une évaluation de l'amplitude des variations de niveaux de pollution. L'échantillonnage et l'analyse sont effectués automatiquement et les données ont ensuite été transférées à la station de données. Le laboratoire est surveillé quotidiennement en examinant les données recueillies.

II.5.2.1. Analyseurs de mesure

Le système de surveillance de la qualité de l'air ambiant (laboratoire mobile) a été fabriqué par Environment S.A. Ce système est composé de plusieurs analyseurs utilisant diverses techniques d'instrumentation.

- Analyseur de poussières (PM₁₀): Les particules en suspension (PM₁₀) d'un diamètre aérodynamique de 10 μm sont mesurées par la méthode d'absorption de rayonnement bêta en utilisant le modèle d'analyseur MP101M, comme le montre la figure II.6. Le gaz échantillon est tiré à travers un ruban filtrant en fibre de verre et le flux volumétrique du gaz est enregistré par le système. Les particules de poussière sont ensuite piégées sur le ruban filtrant et mesurées radiométriquement. La mesure radiométrique est réalisée à l'aide d'une source Carbone 14 (¹⁴C) et d'un détecteur de rayonnements radioactifs (compteur Geiger-Müller) (Buntić et al, 2012). La méthode de mesure normalisée ISO 10473 par jauge bêta de l'analyseur MP101M permet de mesurer en continu la concentration en particules de l'air ambiant.



Figure II.6: Analyseur de poussières (PM₁₀) (Modèle MP101M).

- *Analyseur d'Oxydes d'Azote (NO_x)*: Le dioxyde d'azote et le monoxyde d'azote sont mesurés par la méthode de chimiluminescence en utilisant le modèle d'analyseur AC32M, comme le montre la figure II.7. La chimiluminescence résulte d'une réaction chimique dans laquelle la lumière est émise par une espèce ou un composé dans un état excité. Les moniteurs NO-NO₂-NO_x chimiluminescents mesurent directement les concentrations de NO et de NO_x.

La concentration de NO₂ est calculée en soustrayant la concentration de NO mesurée de la concentration de NO_x mesurée (Buntić et al, 2012). En addition avec un analyseur de NO/NO_x, type AC32M, le module convertisseur CNH3 permet la mesure du NH₃ en continu. La méthode de mesure normalisée ISO 7996 par l'analyseur AC32M permet de mesurer en continu les concentrations en NOx de l'air ambiant.



Figure IL7: Analyseur d'Oxydes d'Azote (Modèle AC32M-CN3).

- Analyseur de CO-CO₂: Le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone sont mesurés par la méthode de corrélation infrarouge en utilisant le modèle d'analyseur CO12M, comme le montre la figure II.8. Le CO12M-R045 fonctionne sur le principe de l'absorption infrarouge, selon la loi de Beer-Lambert. La concentration de CO dans l'échantillon est déterminée en mesurant la quantité de lumière infrarouge absorbée par le gaz échantillon. Le spectre d'absorption du CO est caractérisé par une bande vers 2141 cm⁻¹. La méthode de mesure normalisée ISO 4224 par l'analyseur CO12M permet de mesurer en continu les concentrations en CO et CO₂ de l'air ambiant.



Figure IL8: Analyseur de CO-CO₂ (Modèle CO12M).

- Analyseur de BTEX: Les composés de BTEX sont mesurés par la méthode de chromatographie en phase gazeuse en utilisant le modèle d'analyseur VOC71M, comme le montre la figure II.9. La métrologie est basée sur la séparation chromatographique en phase gazeuse des composés d'intérêt combinés avec une détection réalisée par un détecteur à ionisation de flamme (F.I.D). L'échantillonnage est effectué en mode cyclique avec deux

tubes remplis de sorbants sélectifs. Alors qu'un tube collecte un échantillon, l'autre est désorbé. L'échantillon désorbé est ensuite injecté dans une colonne capillaire à base de silice fondue pour la séparation. Un four à gradient de température contrôlé permet une séparation rapide et précise de BTEX. Les composés de Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes sont identifiés par leurs temps d'élution à travers la colonne capillaire. La méthode de mesure normalisée EN 15267-1 par l'analyseur VOC71M permet de mesurer en continu les concentrations en Benzène, Toluène, Ethylbenzène, et Xylène de l'air ambiant.



Figure II.9: Analyseur de BTEX (Modèle VOC71M).

II.5.3. Systèmes d'acquisition et traitement de données

L'acquisition de données est primordiale à la fonctionnalité d'un système de surveillance en continu des émissions. En plus de fournir des rapports en temps réel et de gérer les données, le logiciel d'acquisition et de traitement de données vise à assurer une conformité législative. Celui-ci garantit également que les systèmes de mesure fonctionnent au maximum de leurs capacités, éliminant ainsi tout risque d'émissions en excès.

II.5.3.1. Système d'acquisition de données

Logiciel d'acquisition de données (SAM-WI) est conçu pour l'acquisition, Analyse, prévalidation de données en temps réel et transfert automatique des données vers le logiciel de traitement de données.

II.5.3.2. Système de traitement de données

Logiciel de traitement de données (XR) est conçu pour la gestion, analyse et validation toutes les données issues de la surveillance de la qualité de l'air délivrées par les systèmes d'acquisition de données.

En général, le système de surveillance de la qualité de l'air au niveau de la plateforme du pôle industriel d'Arzew permet de répondre à différents objectifs à savoir :

- Réaliser un diagnostic régulier de la qualité de l'air.
- Évaluer les niveaux de polluants mesurés dans l'air ambiant.

- Réaliser des campagnes à grande échelle afin d'obtenir une information précise de la répartition spatiale d'un polluant.

Ces mesures peuvent être couplées avec des outils de modélisation afin de réaliser des études plus complètes.

À cet effet, la zone industrielle d'Arzew est dotée d'outils numériques afin de disposer de moyens supplémentaires d'évaluation des émissions de polluants atmosphériques générés par les complexes industriels. Ces outils sont regroupés sous la dénomination de modélisation des émissions atmosphériques (ARIA IMPACT) qui permet :

- Caractériser la qualité de l'air sur une zone du territoire (cartographies en milieu industriel).
- Évaluer le risque de survenue d'un épisode de pollution à l'échéance de plusieurs jours.

II.5.4. Modélisation de la dispersion atmosphérique

La modélisation de la dispersion atmosphérique est une simulation de la dispersion de panaches de pollution dans un contexte et une temporalité donnée, faite à l'aide d'outils mathématiques et de logiciels informatiques et cartographiques. Les modèles cherchent à prendre en compte les conséquences directes et indirectes, dans l'espace et dans le temps des émissions qu'elles soient ponctuelles ou fugitives de substances (gaz, particules, aérosols, radionucléides...) indésirables, dangereuses ou toxiques (Krysta, 2006).

Le rôle de la modélisation de la dispersion dans l'atmosphère peut paraître secondaire dans la législation sur la réduction des émissions. Toutefois, cette dernière est un élément important de la gestion de la pollution par les pouvoirs publics, mais aussi par les exploitants de sites industriels. La modélisation permet de mieux comprendre les phénomènes physiques impliqués et constitue un outil essentiel pour la conception de méthodes de contrôle de la pollution. Ainsi la place de la modélisation dans la problématique de la pollution industrielle se situe à plusieurs niveaux.

II.5.4.1. Surveillance de sites

La modélisation se produit principalement dans la surveillance de sites industriels. Il peut compléter et déterminer les mesures effectuées par les capteurs de pollution persistante déployés sur le site. Les outils de modélisation permettent alors d'exploiter les données issues de ces capteurs en traçant des cartographies de concentration et visualiser ainsi les zones à fortes concentrations de polluant tout en évaluant l'exposition réelle de la population aux alentours des sites industriels, mais également du personnel à proximité des installations. Grâce à sa capacité à étudier les épisodes de forte pollution passés, il permet aux opérateurs d'améliorer leur interaction avec des scénarios similaires, mais également de mieux localiser

les futurs capteurs, ce qui permet une surveillance plus précise. La surveillance des sites comprend également le contrôle de la pollution et les prévisions en temps réel. La modélisation permet ensuite de créer des outils permettant de surveiller immédiatement les concentrations autour des sites mais également, en fonction des prévisions météorologiques et des activités du site, de disposer de ces outils de prévision permettant de contrôler la production en limitant celle-ci en cas de risque de pollution pour les villes voisines.

La modélisation peut également être nécessaire pour localiser la source lorsque le seuil du capteur est dépassé, appelée modélisation inverse. Dans le bilan, la modélisation de la dispersion atmosphérique permet aux exploitants de réagir de manière adaptée et rapide avec un état de pollution déterminé par le capteur, mais elle apporte aussi, au moyen d'études de scénarios, d'aider à la prise de décision.

II.5.4.2. Aide à la décision

L'un des principaux intérêts de la modélisation pour les exploitants de sites industriels est de pouvoir étudier les modifications engendrées par un changement des conditions d'un problème. Ainsi, il est possible avec les outils actuels de prédire l'effet de l'ajout de sources de géométrie ou de termes sur des sites industriels. De nombreux scénarios peuvent être testés et simulés pour aider les décideurs et les opérateurs à choisir le meilleur compromis entre rentabilité et protection de la population environnante. Ainsi, la modélisation prend une place très importante dans l'optique de réalisation de PPRT par exemple (Plans de prévention des risques technologiques). Les études de dangers sont ensuite effectuées en partie au moyen de modèles de calcul qui, lors de la prise de dispositions spécifiques (construction d'usines, réorganisation de la planification urbaine autour d'un site, etc.) fournissent des informations sur l'évaluation de la pollution résultant de l'efficacité des différentes politiques mises en œuvre. Enfin, la contribution de la modélisation atmosphérique au niveau de l'aide à la décision est très importante et facilite la coexistence de la rentabilité, de la production du monde industriel et de la sécurité de la population environnante.

En générale, les contrôles renseignent les inventaires régionaux des émissions, via des outils de mesure installés sur le terrain ou via des outils numériques comme la modélisation et la prévision, pour notamment cartographier la pollution. La figure II.10 montre le système de surveillance de la qualité de l'air représenté dans une gamme d'analyseurs et logiciels.



Figure IL10 : Système de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

II.5. Conclusion

Le deuxième chapitre a pour objectif de présenter la zone d'étude et le contexte climatique dans la région d'Arzew ainsi que les principales sources d'émissions atmosphériques provenant des activités industrielles d'Arzew. Ces facteurs permettent d'étudier la relation entre les conditions météorologiques et les concentrations de polluants surveillées au niveau du le pôle industriel Arzew. Ce chapitre a également pour objectif de décrire le système de surveillance de la qualité de l'air constitués d'un ensemble d'outils d'analyse et de systèmes d'acquisition et de traitement de données, ainsi que d'un logiciel modélisation de la dispersion des émissions atmosphérique adapté au milieu industriel afin de réaliser des études plus complètes.

CHAPITRE III

Impact des Émissions Industrielles sur la Qualité de l'Air Ambiant

Ce chapitre présente les caractéristiques météorologiques de la zone d'étude et l'impact des émissions atmosphériques de la zone industrielle d'Arzew, telles que le dioxyde d'azote (NO₂), l'oxyde nitrique (NO), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils non méthaniques, tels que le benzène, toluène, éthylbenzène et les xylènes (BTEX) et le gaz à effet de serre (CO₂), additivement aux particules en suspension (PM₁₀), sur l'air ambiant conformément aux normes de qualité de l'air en utilisant un laboratoire mobile afin de mesurer en temps réel la quantité de polluants étudiés.

III.1. Introduction

Ce chapitre présente l'évaluation de l'impact des concentrations d'émissions surveillées sur la qualité de l'air ambiant au niveau de la Platform de la zone industrielle d'Arzew, ainsi que l'évaluation de certains facteurs météorologiques pendant les périodes de mesure. Le but est de déterminer et d'évaluer l'impact des concentrations d'émissions d'origine industriel, en comparaison aux réglementations, sur la qualité de l'air. Cette évaluation est réalisée à partir des résultats de mesures en continu, effectuées par la station de surveillance de la qualité de l'air ambiant. Le laboratoire de contrôle dispose des analyseurs de mesure qui permettent de déterminer l'évolution des teneurs en PM₁₀, NO, NO₂, CO, CO₂ et en BTEX. Nous nous sommes appuyés sur la réglementation internationale de la qualité de l'air ambiant comme référence pour apprécier les niveaux de polluants surveillés en raison du manque flagrant de législation nationale sur les normes de qualité de l'air.

III.1.1. Critères de choix des sites de surveillance

La localisation de la station de surveillance de la qualité de l'air sur le site de mesure répond aux critères suivants :

- La station de surveillance de l'air ambiant a été installée sur un site à proximité d'activités industrielles caractérisé par les émissions de haute intensité.
- Le site de mesure est loin de tout effet des sources de pollution d'origine urbaine.

Cette station permet de surveiller les polluants générés sur la plate-forme aux milieux environnants. En fonction des critères exposés précédemment et en prenant en compte les contraintes logistiques, le laboratoire est installé sur les sites de mesure de la plateforme du pôle industriel d'Arzew.

III.1.2. Objectifs de choix des sites de surveillance

Pour notre étude, le choix des sites de surveillance de la qualité de l'air répond aux objectifs suivants :

- Évaluation de la contribution des activités industrielles à la qualité de l'air local : L'approche repose sur l'observation des concentrations environnant les activités industrielles. Elle est en effet représentative de la pollution de l'air et permet de suivre les phénomènes de transport de pollution par l'action du vent.
- Estimations des niveaux de concentration observés sur le site de mesure : De façon générale, la plate-forme du pôle industriel est caractérisée par une forte activité anthropique représentée dans les activités industrielles. L'approche est basée sur la comparaison des

concentrations observées dans le site de mesure avec les réglementations sur la qualité de l'air.

- Évaluation de la variabilité temporelle des polluants dans le site de mesure : La démarche est de comparer les évolutions journalières, saisonnières et annuelles.

III.2. Conditions météorologiques durant les périodes de mesure

Les paramètres météorologiques susceptibles d'avoir une influence sur la concentration des polluants sont majoritairement la vitesse et la direction du vent, le volume des précipitations éventuelles, la température de l'air et l'hygrométrie. A cet effet, nous avons examiné ces paramètres climatiques au niveau de la zone d'étude en de 2016, 2017, 2018 et 2019. Ces données climatologiques sont fournies par l'Office National de la Météorologie (ONM), relative à la station synoptique d'Arzew à 3 m d'altitude au niveau du port d'Arzew sur les coordonnées Nord : 35°49'1.20" et Ouest : 00°16'1.20".

III.2.1. Précipitations

Dans la zone d'étude, la répartition des précipitations varie au cours des périodes de mesure comme le montre la figure III.1.



Figure III.1: Répartition moyenne mensuelle des précipitations dans la zone d'étude (2016-2019).

Un gradient de précipitations longitudinal dans la figure III.1 montre que les pluies augmentent dans la saison hivernale et automnale, ce qui contribue au lessivage de certains polluants dans l'atmosphère (Seigneur, 2011). Cependant, pendant les mois d'été, les précipitations deviennent rares ou même inexistantes. Ces variations de précipitation totale par mois s'expliquent par la localisation de la région d'Arzew. Elle est située en bordure du

littoral est sous l'influence du climat Méditerranéen, connu par des maximas de précipitations en hiver ou au automne, avec quelquefois un minimum au printemps.

III.2.2. Température

Au cours de la période d'étude (2016-2019), les températures moyennes annuelles étaient de 19°C, 19.2°C, 20°C et 19.4°C respectivement. Les températures moyennes mensuelles les plus basses ont été enregistrées en hiver notamment en mois de janvier et février, qui coïncident avec des périodes de précipitations. Tandis que l'augmentation des températures moyennes ont été enregistrées pendant la saison estival, notamment en juillet et août comme le montre la figure III.2.

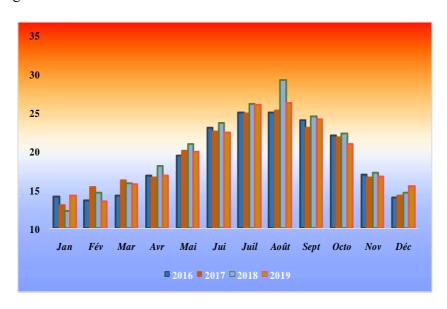


Figure III.2: Variations moyenne mensuelle des températures dans la zone d'étude (2016-2019).

III.2.3. Humidité

Les variations des moyennes mensuelles du degré hygrométrique montrent que l'humidité relative moyenne de l'air dans le zone d'étude est respectivement de 70%, 63%, 60% et 64% en 2016, 2017, 2018 et 2019, comme le montre la figure III.3. Les variations mensuelles moyennes indiquent que l'humidité relative la plus élevée dans l'air a été enregistrée pendant les saisons d'automne et d'hiver coïncidant avec la période des pluies. Une humidité élevée joue un rôle clé dans la formation de certains polluants comme l'acide sulfurique (brouillard acide) et leur élimination (dépôts humides) et intervient également dans les effets néfastes des polluants (dégradation de la qualité de l'air) (Elie, 2010).

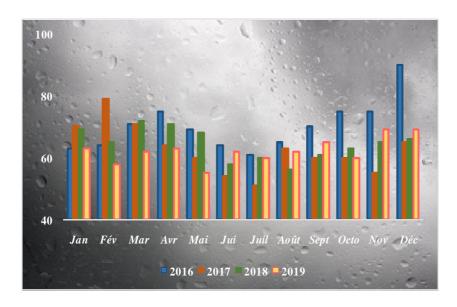


Figure III.3: Variation moyenne mensuelle d'humidité dans la zone d'étude (2016-2019).

III.2.4. Vitesse du vent

Dans la zone d'étude, les variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent varient au cours des périodes d'échantillonnage. La figure III.4 montre que les vitesses de vent les plus élevées ont été enregistrées au printemps et en automne. Les vitesses mensuelles moyennes du vent pendant la période d'étude (2016-2019) étaient respectivement de 6.5 m/s, 7.4 m/s, 8.2 m/s et 7.9 m/s. les vitesses faibles sont enregistrées en été, notamment en aout, soit une vitesse moyenne de 5.7 m/s, ce qui favorisent l'accumulation locale de polluants dans l'air (Diaf et al, 2020).

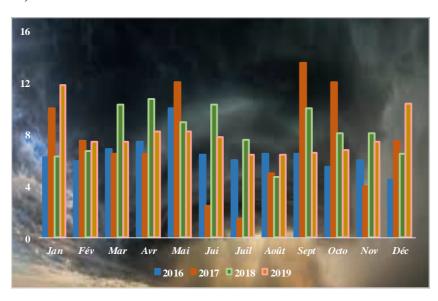


Figure III.4: Variation moyenne mensuelle de la vitesse du vent dans la zone d'étude (2016-2019).

III.2.5. Rose du vent

La figure III.5 présente les variations de la direction du vent dans le pôle industriel d'Arzew au cours de la période 2016-2019. La rose des vents montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée. Pendant ces périodes, le vent souffle souvent du Sud-Ouest (SW), Nord (N) et Nord-Est (NE).

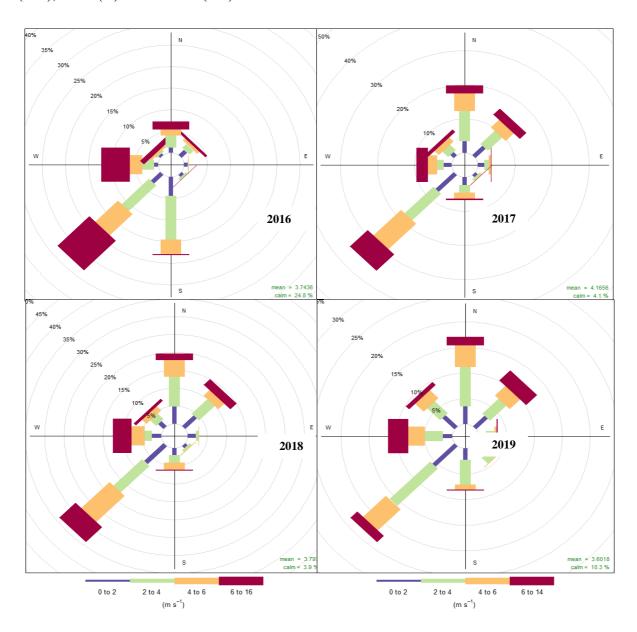


Figure III. 5 : Rose des vents dans la zone d'étude (2016-2019).

III.3. Évaluation de l'impact des émissions industrielles

Cette partie dresse un bilan de la qualité de l'air ambiant au niveau de la plateforme du pôle industriel d'Arzew à partir des mesures réalisées par la station de surveillance destinée au suivi des pollutions atmosphériques. Les émissions surveillées dans cette étude sont celles qui font l'objet d'une réglementation sur la qualité de l'air ambiant nationale et internationale et comprennent les polluants gazeux à savoir : le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils non méthaniques type BTEX et le gaz à effet de serre (CO₂), additivement aux particules en suspension (PM₁₀).

III.3.1. Évaluation des niveaux de teneur en NO, NO2 et CO

Ce travail porte sur l'impact des émissions atmosphériques telles que NO, NO₂ et CO, générées par les activités industrielles du pole industriel d'Arzew, sur la qualité de l'air ambiant conformément aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé. L'étude est menée du 1er juillet au 31 décembre 2016, en utilisant un laboratoire mobile pour mesurer en temps réel la quantité de polluants étudiés.

III.3.1.1. Description du site de mesure

Le site d'échantillonnage pendant la période de mesure est situé à proximité des activités industrielles représentées par les complexes de traitement du gaz naturel, de raffinage du pétrole et de pétrochimie. Les coordonnées géographiques de ce site de mesure sont : latitude : 35°49'16,52" nord et longitude : 0°17'54,34" ouest, à 53 m au-dessus du niveau de la mer, comme le montre la figure III.6.

III.3.1.2. Normes pour les NO₂ et CO dans la qualité de l'air ambiant

Les valeurs guides de l'Organisation mondiale de la santé pour les polluants mesurés dans cette étude sont résumées dans le tableau III.1 (Squilbin et al, 2015).

Tableau III.1: Valeurs limites pour les polluants de l'air ambiant

Pollutant	Valeur limite (µg/m³)	Temps d'exposition (heure)
NO_2	200	01
CO	30 000	01

Remarque: le NO n'est pas soumis à réglementation nationale ou internationale.



Figure III.6: Localisation géographique du site de mesure dans le pôle industriel pendant la période de mesure de 2016.

III.3.1.3. Résultats

Le tableau III.2 montre que les concentrations moyennes mensuelles de NO₂, NO et CO varient au cours de la période d'échantillonnage. Les niveaux les plus élevés sont enregistrés en automne et en hiver, soit 42,59 μg/m³ pour le NO₂ en décembre et 7,13 μg/m³ pour le NO en septembre, tandis que les valeurs les plus faibles de ces polluants sont enregistrées en juillet et août. En revanche, des valeurs maximales de teneur en CO sont enregistrées en juillet (2,91 mg/m³) et en août (1,33 mg/m³), alors que les valeurs les plus faibles sont observées en octobre, novembre et décembre (0,48 mg/m³, 0,39 mg/m³ et 0,36 mg/m³, respectivement).

Tableau III.2: Concentrations moyennes mensuelles de NO₂, NO et CO pendant la période de mesure de 2016.

Mois	Dioxyde d'Azote (NO ₂) (µg/m³)	Monoxyde d'Azote (NO) (μg/m³)	Monoxyde de Carbone (CO) (mg/m³)
Juillet	9.53	1.41	2.91
Août	9.46	1.01	1.33
Septembre	23.75	7.13	1.00
Octobre	32.48	2.62	0.48
Novembre	23.15	2.20	0.39
Décembre	42.59	4.70	0.36

La figure III.7 montre les variations horaires moyennes des NO_2 et NO pendant la période de mesure. Les concentrations horaires moyennes de NO_2 durant la période d'échantillonnage sont bien inférieures au seuil de qualité de l'air (200 $\mu g/m^3$ en moyenne horaire). Le NO_2 atteint trois concentrations maximales en décembre, à savoir de 91,10 $\mu g/m^3$ à 21h00, 86,06 $\mu g/m^3$ à 20h00 et 80,46 $\mu g/m^3$ à 22h00. Les faibles concentrations de NO_2 sont enregistrées en été, dont la concentration la plus faible est atteinte 5,78 $\mu g/m^3$ en juillet à 16h00 et 5,70 $\mu g/m^3$ en août à 17h00. Des profils relativement similaires sont observés pour les courbes de variation horaire moyenne des concentrations de NO_2 à l'exception du mois de septembre, dont une valeur assez élevée (27,56 $\mu g/m^3$) est enregistrée à 09h00.

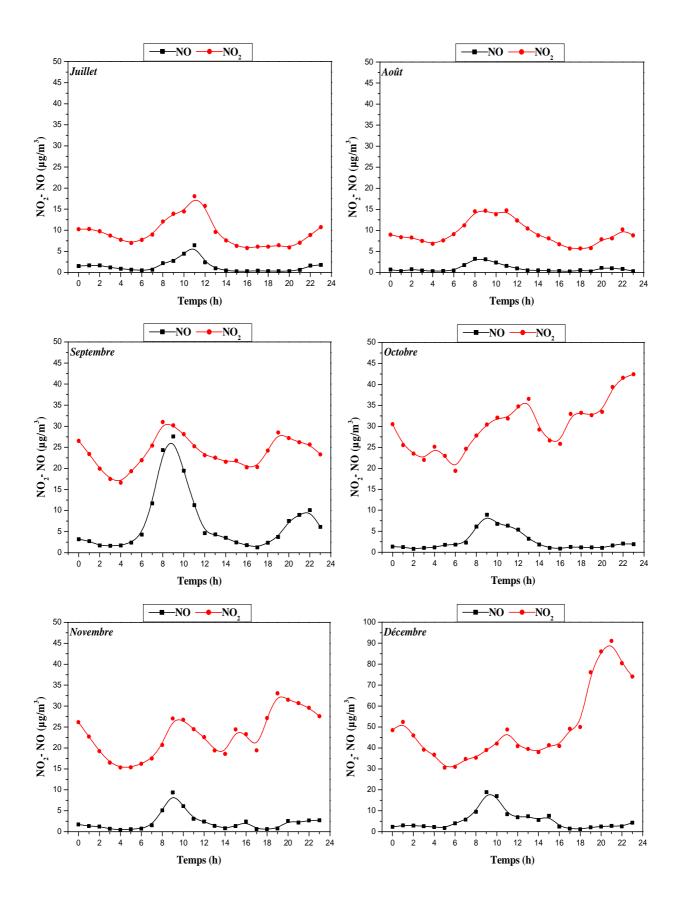


Figure III.7: Variations horaires moyennes des concentrations de NO et NO₂ pendant la période de mesure de 2016.

La figure III.8 montre également les fluctuations de la teneur horaires moyennes en CO. Les valeurs de CO observées en juillet, comprises entre 2,79 mg/m³ à 18h00 et 3,2 mg/m³ à 08h00, sont supérieures à celles observées dans les autres mois, dont les valeurs varient entre 0,3 mg/m³ en décembre à 17h00 et 1,42 mg/m³ en septembre à 07h00. En général, les concentrations horaires moyennes du CO enregistrées pendant la période d'étude sont bien en deçà de la valeur limite (30 mg/m³) recommandé par l'OMS.

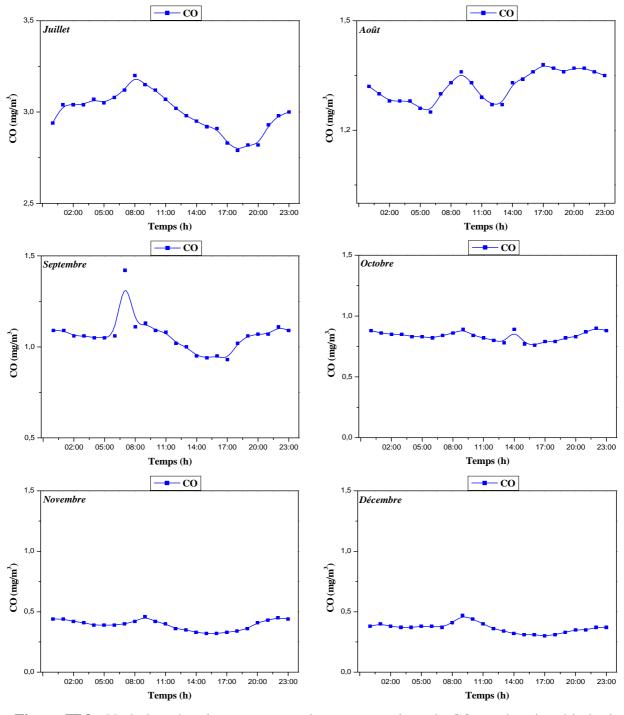


Figure III.8 : Variations horaires moyennes des concentrations de CO pendant la période de mesure de 2016.

La figure III.9 montre les variations journalières moyennes des NO et NO $_2$ durant la période de mesure. Des niveaux élevés de NO $_2$ sont observés en octobre avec une concentration quotidienne maximale moyenne de 115,20 µg/m 3 et également en décembre avec deux pics (103,01 µg/m 3 et 93,06 µg/m 3). En revanche, les teneurs les plus faibles sont observées en juillet et août, dont les valeurs ne dépassent pas 27,43 µg/m 3 et 18,77 µg/m 3 , respectivement. Des profils relativement similaires sont observés pour les courbes de NO, à l'exception de septembre, dont la valeur élevée est de 23,91 µg/m 3 .

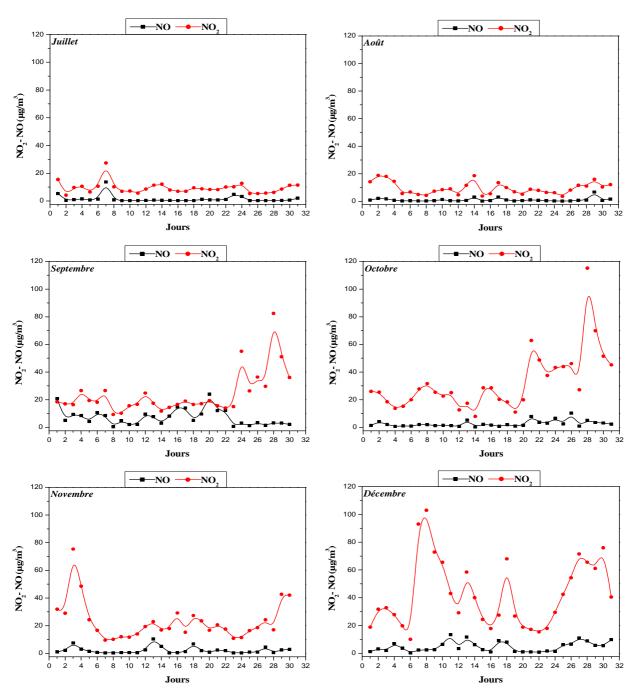


Figure III.9: Variations quotidiennes moyennes des concentrations de NO et NO₂ pendant la période de mesure de 2016.

La figure III.10 montre que les teneurs journalières moyennes élevées en CO sont enregistrées en juillet (allant de 3,05 mg/m³ et 3,65 mg/m³), à l'exception des jours de la dernière semaine où les valeurs de concentration de CO sont faibles, ne dépassant pas 1,62 mg/m³. Ces valeurs commencent à diminuer progressivement à partir d'aout pour atteindre des valeurs minimales en novembre et décembre.

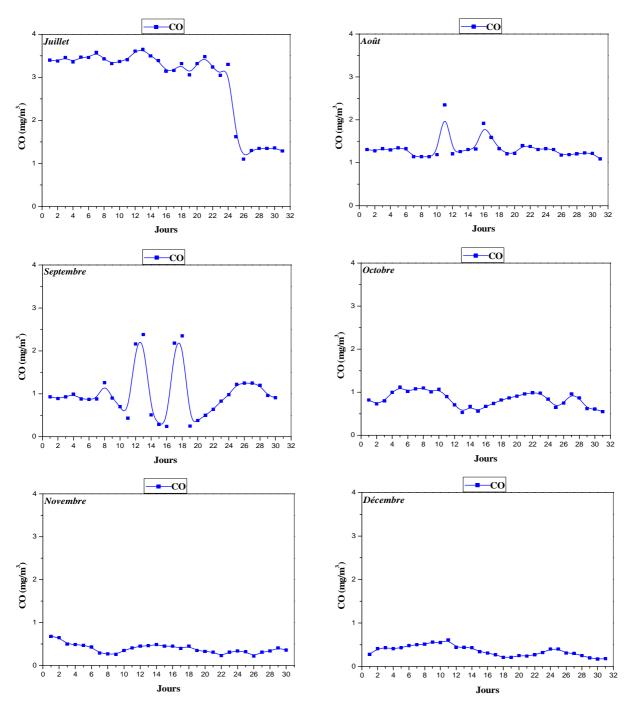


Figure III.10: Variations quotidiennes moyennes des concentrations de CO pendant la période de mesure de 2016.

La figure III.11 montre les tendances de la variation moyenne des concentrations de NO, NO_2 , PM_{10} et CO pendant les jours ouvrables (du dimanche au jeudi) et les weekends (le vendredi et le samedi). Une comparaison des variations moyennes de NO, NO_2 et CO montre que leurs valeurs enregistrés pendant les jours ouvrables et le week-end sont relativement similaires, à l'exception du mois d'octobre, dont les concentrations NO et NO_2 dans les jours du week-end $(4,16~\mu g/m^3, 47,19~\mu g/m^3)$ sont environ doubles de celles enregistrées dans les jours ouvrables $(1,91~\mu g/m^3, 26,23~\mu g/m^3)$.

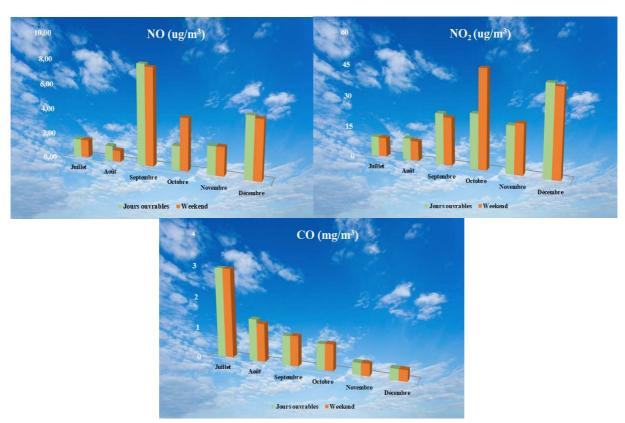


Figure III.11: Variations moyennes des concentrations de NO, NO₂ et CO pendant les jours ouvrables et les weekends durant la période de mesure de 2016.

III.3.1.4. Discussion

Les résultats des variations des concentrations de NO₂ et de CO pendant la période de mesure indiquent des concentrations inférieures aux valeurs limites recommandées par l'OMS. Cela s'explique principalement par le faible taux d'émission de polluants provenant des activités industrielles (Naili et al, 2020), qui est dû à l'utilisation de brûleurs bas-NO_x pour réduire les émissions de NO₂ et également grâce à l'amélioration des procédés et des technologies de production réduisant ainsi les émissions de CO. De plus, la corrélation des

paramètres météorologiques avec la variation de la concentration des polluants est généralement favorable à une bonne dispersion des polluants atmosphériques.

III.3.1.5. Conclusion

Sur la base des résultats des polluants étudiés, conformément aux valeurs limites, les concentrations de NO₂ et de CO émises dans l'air n'ont pas atteint les limites prescrites. Ainsi, la qualité de l'air ambiant dans la zone d'étude est supérieure à l'objectif de qualité de l'air fixant la teneur en NO₂ et CO selon les lignes directrices de l'OMS (Naili et al, 2020).

III.3.2. Évaluation de niveau de la teneur de CO₂

L'étude menée en 2017 vise à évaluer les niveaux d'émissions de CO₂, le principal gaz à effet de serre ; au niveau du site d'étude à proximité des activités industrielles représentées par les complexes industriels gaziers (GNL et GPL).

III.3.2.1. Description du site d'échantillonnage

Le site de mesure du CO₂ est situé à proximité des complexes industriels, à savoir : GNL1/Z, GNL2/Z, CNL3Z, GP1/Z et GP2/Z. Les coordonnées géographiques de ce site sont représentées par latitude : 35°47'57.81 "Nord et longitude : 0°14'33.85" Ouest, à 31 mètres audessus du niveau de la mer, comme indiqué sur la figure III.12.

III. 3.2.2. Normes pour le CO2 dans la qualité de l'air

L'Union européenne prend des mesures pour réduire les émissions de dioxyde de carbone d'origine industrielles. Les règles révisées en 2013 imposent des normes d'émissions de CO₂ plus strictes dans le milieu industriel. Le tableau III.3 montre la limite d'exposition en moyenne journalière au CO₂ dans l'air ambiant recommandée par la norme EN 13779 (Anses, 2013).

Tableau III.3 : Valeur limite en moyenne journalière du CO₂ dans l'air ambiant en milieu industriel.

Source	Valeur (ppm)	Norme	Qualité de l'air	
Directive européenne	[400 – 600]	NF EN 13779	Supérieure	
	[600 –1000]		Inferieure	



Figure III.12: Localisation géographique du site de mesure dans la zone d'étude en 2017.

III.3.2.3. Résultats

La figure III.13 montre les niveaux journalière moyenne de la teneur en CO₂. Les niveaux des concentrations de CO₂ enregistrés pendant la période de mesure indiquant des valeurs inférieures à la valeur limite de 600 ppm recommandée par la directive européenne EN 13779. Durant la période de mesure du troisième trimestre de 2017, les concentrations quotidiennes moyennes de CO₂ ont atteint trois concentrations maximales enregistrées en aout, à savoir de 553,41 ppm, 551,54 ppm et 548,96 ppm. Les valeurs enregistrées pendant le deuxième trimestre sont inférieures à 400 ppm, dont la valeur maximale (394,4 ppm) est relevée en juin. Cependant, les teneurs les plus faibles sont observées aux premier et quatrième trimestre, notamment les jours du mois de janvier, dont la valeur maximale ne dépasse pas de 317,8 ppm.

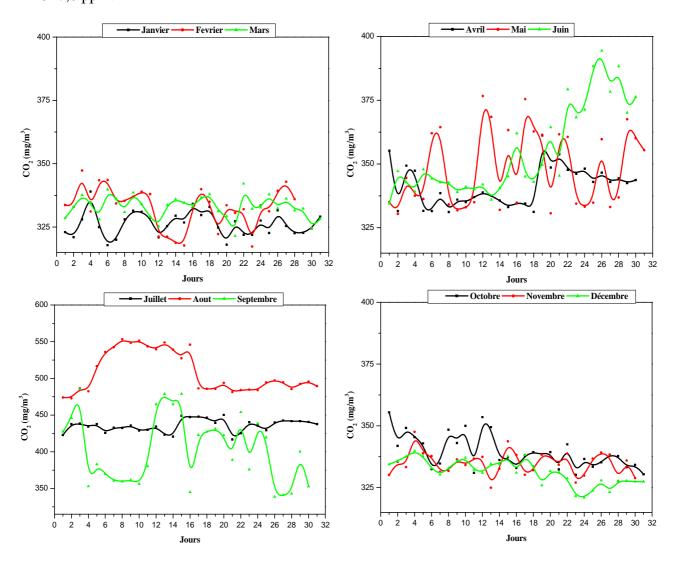


Figure III.13: Variation journalière moyenne de la teneur en CO₂ en 2017.

La figure III.14 montre la variation mensuelle moyenne de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère au cours de l'année 2017. Pendant le premier semestre, de faibles valeurs sont enregistrées entre 326 ppm en janvier et 356 ppm en juin. Toutefois des niveaux élevés sont observés en juillet (436 ppm), août (508 ppm) et septembre (402 ppm). Ces valeurs maximales commencent à diminuer en octobre (340 ppm), novembre (335 ppm), puis décembre (331 ppm).

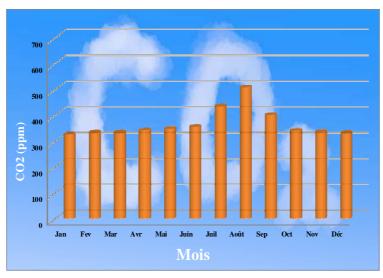


Figure III.14: Variation mensuelle moyenne de la teneur en CO₂ en 2017.

La figure III.15 montre la variation saisonnière de la teneur en CO₂ dans l'air ambiant pendant l'année 2017. Les résultats présentés révèlent un comportement saisonnier variable de la concentration en CO₂, qui atteint un niveau élevé pendant la saison estivale (449 ppm) et de faibles niveaux recensés pendant les saisons printemps (348 ppm), automne (335 ppm) et hiver (331 ppm).

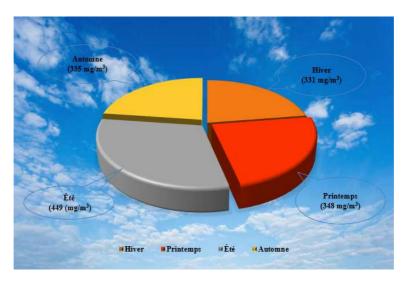


Figure III.15: Variation saisonnière moyenne de la teneur en CO₂ en 2017.

III.3.2.4. Discussion

Les résultats de la variation moyenne journalière, mensuelle et saisonnière de la teneur en CO₂ dans l'air ambiant indiquent une différence relativement faible dans la zone d'étude, à l'exception de la saison estivale dont des concentrations relativement élevées sont enregistrées. Cette augmentation, notamment accentuée en juillet et août, coïncide avec la saison estivale local caractérisée par des conditions météorologiques défavorables à la dispersion de CO₂ dont les précipitations sont rares (moyenne 0,1 mm), les vents sont faibles (moyenne 6,7 m/s), les températures sont élevées (moyenne 24,4 °C) avec une humidité relativement faible (moyenne 58 %) favorisant ainsi la stagnation, la saturation et l'accumulation de ce polluant dans l'atmosphère. Cette augmentation constate en période estivale s'explique également par la forte intensité des émissions de CO₂ issue des installations industrielles gazières en raison de certains dysfonctionnements dans les procédés traitement de gaz naturel tels que la perturbation dans les paramètres de fonctionnement lors du démarrage des installations.

III.3.2.5. Conclusion

Les résultats présentés dans cette étude, montrent la dépendance des niveaux de pollution atmosphérique aux émissions industrielles de CO₂ liés principalement aux activités de traitement de gaz naturel et aux conditions météorologiques. Ces résultats mettent également en évidence l'effet de la variation saisonnière sur le niveau de teneur en CO₂ dans l'air ambiant, dont les conditions climatiques pendant la saison estivale sont défavorables à une bonne dispersion des émissions de ce gaz.

En 2017, la valeur de 400 ppm est franchie 92 fois, soit un taux de dépassement de 25%, néanmoins reste inférieure à la valeur de 600 ppm. En général, la qualité de l'air ambiant dans la zone d'étude est supérieure à l'objectif de la qualité de l'air fixant le teneur en CO₂ conformément à la norme EN 13779. Ce résultat réduit considérablement les risques directs vis-à-vis la santé humaine et les autres problèmes causés par l'effet de serre qui provoque le changement climatique.

III.3.3. Évaluation de niveau des concentrations des composés BTEX

En 2019, une campagne de mesure a été menée dans l'objectif de déterminer la source de pollution principale des émissions des composés BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) générées par les activités industrielles et unités de stockage d'hydrocarbures.

III.3.3.1. Description de la campagne de mesure

La campagne de mesure menée dans cette étude a concerné sur neuf sites d'échantillonnage, tous situés dans la zone industrielle d'Arzew (figure III.16), qui sont définies comme suit :

- *Complexe industriel RA1/Z* de raffinage du pétrole brut, présente une superficie totale de 170 hectares, sa capacité de traitement est de 2,75 millions de tonnes de pétrole brut par an et produit du GPL et des combustibles tels que l'essence, kérosène, gasoil, fuel et naphta.
- *Unité de stockage de condensat*, d'une superficie totale de 52 hectares, dispose de 7 bacs de stockage à toit flottant pour un volume utile total de 283 410 m³.
- *Unité de stockage de pétrole brut*, d'une superficie totale de 90 hectares, dispose de 18 bacs de stockage à toit flottant pour un volume utile total de 756 028 m³.
- *Unité de stockage de produits combustibles*, d'une superficie totale de 5 000 m², dispose de 5 réservoirs de carburant flottants (carburant, gasoil) d'un volume utile total de 14 100 m³.
- Complexe industriel GP1/Z pour la séparation et la liquéfaction du gaz de pétrole (gaz de pétrole liquéfié GPL) couvre une superficie totale de 120 hectares, sa capacité de production est de 7,2 millions de tonnes de gaz de pétrole liquéfié (GPL).
- Complexe industriel GL1/Z pour la séparation et la liquéfaction du gaz naturel (GNL) est d'une superficie totale de 72 hectares, sa capacité de production annuelle de 17,563 millions m³ de gaz naturel liquéfié (GNL).
- Complexe industriel GL3/Z pour la séparation et la liquéfaction du gaz naturel (GNL) d'une superficie totale de 54 hectares, il a une capacité de production annuelle de 4,7 millions de tonnes de GNL, ainsi que l'éthane, le propane, le butane, le benzène et le gaz enrichi en hélium.
- Complexe industriel SORFERT pour la production d'ammoniac et d'urée a une superficie totale de 40 hectares, sa capacité de production est de 2 200 tonnes/jour d'ammoniac et 3 450 tonnes d'urée/jour.
- Complexe industriel AOA pour la production d'ammoniac et d'urée a une superficie totale de 75 hectares, sa capacité de production est de 4 000 tonnes/jour d'ammoniac et 7 000 tonnes d'urée/jour.



Figure III.16: Localisation géographique des différents sites de mesure dans la zone industrielle d'Arzew en 2019.

III.3.3.2. Sites d'échantillonnage et périodes de mesure

Les mesures des composés BTEX sont réalisées au cours de différentes périodes de 2019 avec des sites de mesure différents, comme le montre le tableau III.4. Cela est dû principalement à la disponibilité d'une seule station de surveillance de la qualité de l'air ambiant au niveau de la plate-forme de la zone industrielle.

Tableau III.4: Sites d'échantillonnage et périodes de mesure en 2019.

Secteurs	Sites de mesure	Coordonnées géographique	Périodes de mesure	
Raffinage du pétrole brut	Complexe RA1/Z	35°49'47.66"N 0°19'37.58"O	Du 01 janvier au 31 mars	
Traitement et liquéfaction du gaz naturel	Complexe GP1/Z	35°47'57.46"N 0°13'24.72"O		
	Complexe GL1/Z	35°48'37.51"N 0°15'56.63"O	Du 01 avril au 30 juin	
	Complexe GL3/Z	35°48'20.03"N 0°14'18.47"O		
Pétrochimique	Complexe SORFERT	35°48'21.16"N 0°18'47.30"O	Du 01 juillet au 30	
	Complexe AOA	35°47'50.87"N 0°10'59.67"O	septembre	
Stockage d'hydrocarbures	Pétrole brut	35°49'18.26"N 0°18'48.61"O		
	Produits combustibles	35°48'59.89"N 0°16'14.07"O	Du 01 octobre au 31 décembre	
	Condensat	35°48'56.92"N 0°18'0.54"O		

III.3.3.3. Ligne directrice pour le benzène dans la qualité de l'air ambiant

Pour les composés de types BTEX, seul le benzène est soumis à une réglementation dans l'air extérieur. Les directives de l'UE ont fixé un objectif de qualité de l'air ambiant à 2 $\mu g/m^3$ en moyenne annuelle pour le benzène.

III.3.3.4. Variation des concentrations des composés BTEX dans différents secteurs

La figure III.17 montre les variations des concentrations de composés BTEX dans les différents secteurs situés dans la zone industrielle d'Arzew. Les concentrations d'espèces de BTEX varient entre $0.28~\mu\text{g/m}^3$ à $5.36~\mu\text{g/m}^3$ pour le benzène, $0.09~\mu\text{g/m}^3$ à $0.61~\mu\text{g/m}^3$ pour le toluène et $0.08~\mu\text{g/m}^3$ à $0.58~\mu\text{g/m}^3$ pour l'éthylbenzène. Les concentrations pour les xylènes

est compris entre 0,09 μg/m³ et 2,18 μg/m³. Les concentrations respectives, enregistrées des espèces de benzène, toluène, éthylbenzène et xylène pendant les périodes de mesure dans les différents secteurs sont les suivantes: le raffinage du pétrole est de 5,36 μg/m³, 0,61 μg/m³, 0,58 μg/m³, 2,18 μg/m³; le stockage d'hydrocarbures est de 1,97 μg/m³, 0,53 μg/m³, 0,21 μg/m³, 1,5 μg/m³; le traitement du gaz naturel est de 0,53 μg/m³, 0,13 μg/m³, 0,18 μg/m³, 0,4 μg/m³ et dans le secteur pétrochimique est de 0,28 μg/m³, 0,09 μg/m³, 0,08 μg/m³, 0,09 μg/m³.

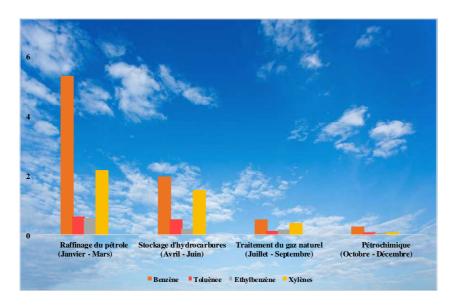


Figure III.17: Variation des concentrations d'espèces BTEX dans différents secteurs en 2019.

III.3.3.5. Variation des concentrations de BTEX dans différents sites de mesure

Les figures III.18-III.21 montrent les variations des composés BTEX dans différents sites de mesure, à savoir RA1/Z GNL1/Z, GNL3/Z, GP1/Z, SORFERT et AOA, ainsi que les unités de stockage d'hydrocarbures qui comprennent le stockage de pétrole brut, stockage de combustibles et stockage des condensats.

La concentration de benzène est la plus élevée (5,36 μg/m³) dans le site de mesure situé à proximité du complexe industriel de raffinage du pétrole (RA1/Z) par rapport aux espèces de toluène, éthylbenzène et xylènes qui ont enregistré des valeurs de 0,61 μg/m³, 0,58 μg/m³ et 2,18 μg/m³, respectivement, comme le montre la figure III.18. La valeur élevée de l'espèce de benzène s'explique principalement par l'intensité des émissions issu des procédés de raffinage du pétrole brut pour la production des combustibles tels que l'essence, kérosène, gasoil, fuel et naphta. Cela confirme que les raffineries de pétrole sont à l'origine d'émissions dispersées de COV (Hoque et al, 2008 ; Buczynska et al, 2009 ; Gaur et al, 2016 ; Naili et al, 2019 b).



Figure III. 18: Variation des concentrations de BTEX dans le site du raffinage du pétrole brut pendant la période de mesure de 2019.

Dans les sites d'échantillonnage à proximité des unités de stockage d'hydrocarbures, le benzène reste toujours prédominant par rapport aux autres espèces (figure III.19). La valeur de benzène la plus élevée est observée au site de stockage des produits combustibles (2,12 μg/m³) suivi du site de stockage des condensats (1,95 μg/m³) et puis l'unité de stockage de pétrole brut (1,83 μg/m³). Les concentrations enregistrées de toluène, éthylbenzène et xylènes au niveau du site de stockage des condensats est de 1,06 μg/m³, 0,31 μg/m³, 1,63 μg/m³ et le site de stockage de pétrole brut est de 0,34 μg/m³, 0,1 μg/m³, 1,62 μg/m³, alors que le site de stockage des produits combustibles atteint 0,19 μg/m³, 0,21 μg/m³ et 1,26 μg/m³, respectivement. Les concentrations relativement élevées de composés BTEX enregistrées à proximité des unités de stockage d'hydrocarbures peuvent s'expliquer par les émissions issues des bacs de stockage qui contiennent une densité élevée de composés organiques volatils (VOC) qui peuvent facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère.

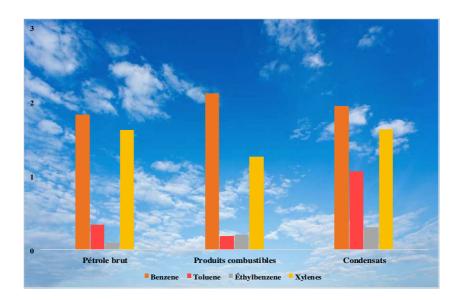


Figure III. 19: Variation des concentrations de BTEX dans les sites de stockage d'hydrocarbures pendant la période de mesure de 2019.

Au niveau des sites de mesure situés à proximité des complexes industriels de traitement et liquéfaction du gaz naturel, à savoir GP1/Z, GL1/Z et GL3/Z, de faibles valeurs sont enregistrées pour les composés BTEX, comme le montre la figure III.20. Le benzène est toujours l'espèce prédominante, dont la valeur la plus élevée est enregistrée pour le complexe GP1/Z (1,66 μg/m³), suivi par le complexe GL3/Z (1,57 μg/m³) et puis complexe GL1/Z (1,37 μg/m³). Les valeurs des concentrations de toluène et éthylbenzène sont relativement similaires dans les complexes GL3/Z (0,26 μg/m³, 0,22 μg/m³) et GP1/Z (0,25 μg/m³, 0,26 μg/m³), respectivement, tandis que le complexe GL1/Z est enregistré des valeurs très faibles, (0,01 μg/m³, 0,12 μg/m³, respectivement). Une valeur élevée de la teneur en xylènes est observée dans le site du complexe GP1/Z (1,11 μg/m³), alors que la teneur de cette espèce est presque nulle dans les complexes GL3/Z (0,01 μg/m³) et GL1/Z (0,07 μg/m³). Les faibles concentrations de composés BTEX enregistrées à proximité des complexes industriels de traitement et de liquéfaction du gaz naturel peuvent s'expliquer par la nature des gaz générés par ces activités industrielles, contenant un faible pourcentage de (COV). En fait, le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures, constitué principalement de méthane.

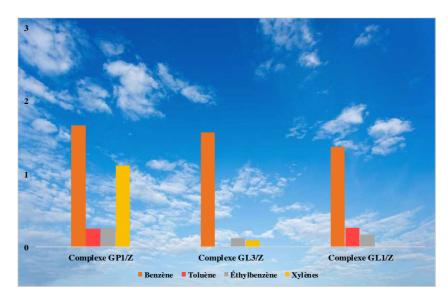


Figure III. 20: Variation des concentrations de BTEX dans les sites de traitement et liquéfaction du gaz naturel pendant la période de mesure de 2019.

Dans les sites d'échantillonnage à proximité de complexes industriels pétrochimiques, les teneurs en composés BTEX sont très faibles, comme le montre la figure III.21. Toutefois, les concentrations de BTEX dans le complexe industriel AOA (0,18 $\mu g/m^3$, 0,01 $\mu g/m^3$, 0,05 $\mu g/m^3$ et 0,03 $\mu g/m^3$, respectivement) sont inférieures à celles enregistrées dans le complexe industriel SORFERT (0,37 $\mu g/m^3$, 0,16 $\mu g/m^3$, 0,10 $\mu g/m^3$, 0,15 $\mu g/m^3$, respectivement). Les concentrations extrêmement faibles de composés BTEX enregistrées à proximité des complexes industriels pétrochimiques est certainement dues à la nature des émissions provenant de la synthèse de l'ammoniac qui contiennent généralement des traces de substances d'hydrocarbures.



Figure III.21: Variation des concentrations de BTEX dans les sites des complexes industriels pétrochimiques pendant la période de mesure de 2019.

III.3.3.6. Conclusion

En 2019, la distribution spatiale des concentrations de BTEX au niveau des sites de mesure à proximité des activités industrielles et unités de stockage d'hydrocarbures indique que le complexe industriel du raffinage du pétrole est la principale source d'émissions des composés BTEX (Naili et al, 2019 b). Le niveau de concentration des espèces de BTEX indique également que la teneur en benzène de l'air ambiant au niveau de tous les sites de mesure.

Il convient de noter que des informations et des données fiables sur les teneurs de BTEX dans l'air ambiant au niveau de la plateforme de la zone industrielle d'Arzew ne sont pas disponibles auparavant. Bien que les valeurs enregistrées ne reflètent pas un risque direct, nous pensons que les sites de mesure concernés devrent prendre des mesures immédiates pour mieux contrôler les BTEX dans le pôle industriel d'Arzew. De plus, les résultats obtenus dans cette étude peuvent servir de base à la réglementation des émissions de toluène et de xylène, qui semblent avoir des taux d'émission de COV égaux, avec un impact similaire sur la qualité de l'air ambiant. Jusqu'à présent, aucune norme de qualité n'a été établie pour le toluène et les xylènes. Par conséquent, cette étude contribuera certainement à réglementer les normes de qualité de l'air relatives aux composés BTEX.

III.3.4. Évaluation de niveau de la concentration de PM₁₀

Cette étude décrit l'évaluation de l'impact des émissions de particules en suspension (PM₁₀) générées par le pôle industriel d'Arzew sur la qualité de l'air ambiant pendant la période de mesure du 1er juillet au 31 décembre de l'an 2016 et 2019.

III.3.4.1. Site d'échantillonnage

Le site de mesure choisi pour cette étude est le même que le site d'échantillonnage (NO, NO₂ et CO) sur lequel l'étude a été menée pendant la période de mesure de 2016, dont les coordonnées sont : Latitude - 35°49′16,52 'N et Longitude - 0°17′54,34' W, à 53 m au-dessus du niveau de la mer, comme mentionné précédemment dans la figure III.6.

III.3.4.2. Norme pour les PM₁₀ dans la qualité de l'air ambiant

Selon les directives de l'OMS pour la qualité de l'air ambiant, la concentration quotidienne moyenne de particules en suspension de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM_{10}) est de $50 \,\mu\text{g/m}^3$.

III.3.4.3. Résultats et discussion

Le Tableau III.5 montre la variation de la concentration moyenne mensuelle des PM_{10} pendant les deux périodes d'échantillonnage. Durant la période de mesure de 2016, les niveaux les plus élevés de PM_{10} sont enregistrés en octobre (74 $\mu g/m^3$), novembre (65,34 $\mu g/m^3$) et décembre (65,39 $\mu g/m^3$), tandis les concentrations les faibles de ce polluant sont observées en juillet (48,54 $\mu g/m^3$), août (52,18 $\mu g/m^3$) et septembre (50,72 $\mu g/m^3$). Une tendance inverse est observée dans les variations mensuelles moyennes de PM_{10} pendant la période de mesure de 2019, où des niveaux élevés sont enregistrés en juillet (65,75 $\mu g/m^3$) et en août (76,74 $\mu g/m^3$), puis ces valeurs commencent à diminuer progressivement à partir de septembre (58,34 $\mu g/m^3$) pour atteindre la valeur minimale en décembre (43,37 $\mu g/m^3$).

Tableau III.5: Valeurs mensuelles moyennes des PM₁₀ pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019.

M	ois	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	2016	48,54	52,18	50,72	74,00	65,34	65,39
PM ₁₀	2019	65,75	76,74	58,34	48,32	45,27	43,37

La figure III.22 montre les variations horaires moyennes des PM_{10} pendant les deux périodes de mesure. Les courbes de variation horaire moyenne au cours de la période d'échantillonnage 2016 sont caractérisées par des fluctuations de la teneur en PM_{10} . Les concentrations fortes de ce polluant sont observées en octobre, novembre et décembre, les valeurs des PM_{10} ont atteint une première concentration maximale de $82,56~\mu g/m^3$ en octobre à 16h00, avec un second pic de $70,83~\mu g/m^3$ en novembre à 17h00 et un troisième pic de $70,65~\mu g/m^3$ en décembre à 11h00. Des faibles concentrations sont relevées en juillet, août et septembre, la valeur la plus faibles $41,56~\mu g/m^3$ est atteinte en août à 09h00. En revanche, pendant la période de mesure de 2019, des valeurs très élevées de PM_{10} sont observées en saison estivale, notamment en août, lorsque deux pics sont enregistrés à savoir $96,08~\mu g/m^3$ à 19h00 et $93,83~\mu g/m^3$ à 20h00, alors que ces valeurs diminuent progressivement en septembre, puis continuent de diminuer de manière significative à partir d'octobre, pour atteindre les niveaux les plus bas en novembre et décembre.

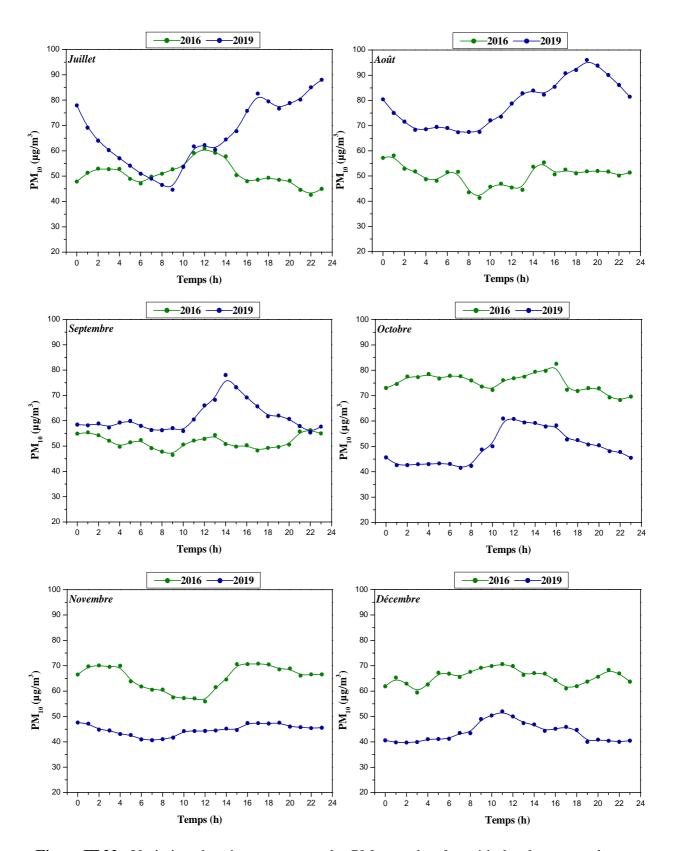


Figure III.22 : Variations horaires moyennes des PM_{10} pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019.

La figure III.23 montre les variations quotidiennes moyennes des PM_{10} pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019. Les courbes de variation journalière moyenne des concentrations de PM_{10} sont caractérisées par un dépassement significatif de la valeur limite journalière de 50 $\mu g/m^3$ pendant la majeure partie de la période de mesure de 2016 (Naili et al, 2020). Le taux de dépassement de la valeur limite est de 73%, soit 134 jours/184 jours, notamment les jours d'octobre, novembre et décembre, tandis que ces valeurs sont moins accentuées en été, notamment en juillet, dont la valeur maximale est de 69,23 $\mu g/m^3$.

Ce dépassement s'explique par la proximité du site de mesure avec des sources d'émissions, qu'elles soient ponctuelles (polluants émis par des torches ou des cheminées) ou des émissions fugitives (fuites accidentelles de canalisations ou des bacs de stockage), issues d'activités industrielles liées principalement aux hydrocarbures et à la pétrochimie (Naili et al, 2021 a ; Naili et al, 2020 ; Medjahed et al, 2017). Les mois d'octobre, novembre et décembre, où des concentrations élevées sont enregistrées, sont exceptionnellement caractérisés par des conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des émissions atmosphériques, à savoir une forte humidité (avec un taux moyen de 80 %), des vents relativement faibles et peu fréquents (moyenne de 5,33 m/s), accompagnés d'une baisse de température (en moyenne de 17,7 °C), qui favorisent la stagnation et la saturation en air par les particules de PM₁₀ malgré un volume moyen de précipitations relativement élevé (moyenne de 23 mm).

Les concentrations de PM_{10} les plus élevées sont enregistrées en octobre, notamment les trois pics de pollution observés aux jours 25, 26 et 27 (134,44 µg/m³, 120,13 µg/m³ et 135,30 µg/m³, respectivement). Ces concentrations excessives sont principalement dues à des niveaux d'émissions très élevés de ce polluant émis par les torches ou les cheminées, les fuites dans les pipelines, la combustion des hydrocarbures et les vapeurs émises par les bacs de stockage d'hydrocarbures. Cela est dû aux dysfonctionnements dans les procédés de traitement industriel liés soit à la transformation et à la liquéfaction de gaz naturel, au raffinage du pétrole brut ou aux synthèses pétrochimiques, ainsi qu'aux conditions météorologiques dominantes dans ces jours, représentés par des températures élevées (soit une moyenne de 26 °C durant les pics de pollution) combinées à des vents faibles (5,5 m/s), qui sont défavorables à une bonne dispersion dans l'atmosphère.

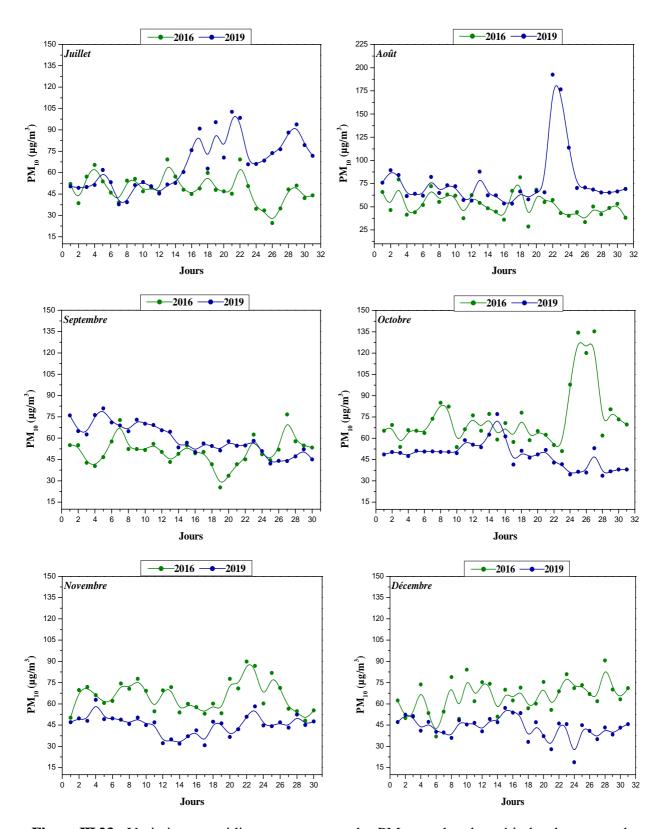


Figure III.23 : Variations quotidiennes moyennes des PM_{10} pendant les périodes de mesure de 2016 et 2019.

Durant la période d'échantillonnage de 2019, l'air ambiant reste pollué par les PM_{10} (Naili et al, 2021 a) et le nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière (50 µg/m³) est de 109 jours ; soit un taux de 59 %. Le taux de dépassement de la valeur limite en août, septembre, juillet et octobre est respectivement de 100%, 73%, 60% et 55%. Sept pics de pollution sont relevés durant la période de mesure, à savoir 192,47 µg/m³, 176,69 µg/m³ et 113,74 µg/m³ enregistrés en août et 102,67 µg/m³, 98,42 µg/m³, 95,38 µg/m³ et 90,91 µg/m³ observés en juillet. Les concentrations les plus faibles de ce polluant sont enregistrées en novembre et décembre, dont la valeur maximale ne dépasse pas 58,28 µg/m³ et 57,11 µg/m³, respectivement. Cette situation est principalement due aux conditions météorologiques survenues, notamment pendant la période d'échantillonnage coïncidant avec la saison estivale représentée par des températures relativement élevées (26,6 °C) combinées à des vents faibles (6,1 m/s) et une humidité relativement élevée (62 m/s), qui sont généralement considérées comme défavorables à une bonne dispersion. De plus, les niveaux très élevés d'émissions de PM_{10} d'origine industrielle mentionnées précédemment assument autant de responsabilité.

Les niveaux de pollution atmosphérique en moyenne journalière, générée par les PM₁₀, durant la période de 2019 (59%) sont faibles par rapport à la même période de 2016 (73%). En général, malgré la tendance à l'amélioration au cours de la période de mesure 2019 par rapport à la période d'échantillonnage 2016, l'air ambiant reste toujours pollué par les particules en suspensions PM₁₀, ce qui des impacts négatifs sur la qualité de l'air ambiant et la santé humain (Naili et al, 2021 a ; Naili et al, 2020). Dans le même contexte, une étude a montré que les niveaux des PM₁₀ dans la zone industrielle d'Arzew dépassent la valeur limite d'exposition (Medjahed, et al, 2017).

III.3.4.4. Conclusion

Sur la base des résultats obtenus, les émissions de particules PM_{10} issues des activités industrielles d'Arzew dans l'air ambiant constituent une problématique environnementale selon les lignes directrices de l'OMS (Naili et al, 2021 a ; Naili et al, 2020 ; Medjahed, et al, 2017). Par conséquent, des mesures doivent être prises pour résoudre le problème de la pollution atmosphérique afin de réduire les impacts négatifs des émissions de PM_{10} sur la santé humaine et la qualité de l'air ambiant en milieu industriel.

CHAPITRE IV

Modélisation de la Dispersion des Émissions Industrielles

Le dernier chapitre concentrera sur la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'origine industrielle. Après un aperçu sur les différents modèles de dispersion et leurs caractéristiques en termes de surveillance, nous mènerons une étude sur la modélisation de la qualité de l'air ambiant au niveau de deux sites industriels et des zones urbaines, à travers la simulation de la dispersion des émissions industrielles tels que les NO_X, PM₁₀, et NH₃, dans le cadre de l'audit environnemental, afin d'évaluer leurs impacts sur la qualité de l'air ambiant conformément à la réglementation en vigueur.

IV.1. Introduction

L'évolution démographique contribue à faire augmenter, sans cesse, l'ampleur des agglomérations. Par conséquent, les sites industriels, qui étaient autrefois éloignés des populations, se voient aujourd'hui entourés par des villes dont la densité est de plus en plus élevée, changeant ainsi la donne du point de vue de l'impact de la pollution au voisinage des sites industriels (explosion de l'unité de production de gaz naturel liquéfié (GNL) à Skikda en janvier 2004, par exemple). L'évolution des mentalités en termes de protection de l'environnement, couplée à cette nouvelle proximité des populations, a entrainé l'apparition de nouvelles normes de plus en plus restrictives sur les émissions de polluants industriels. Ainsi, l'utilisation de la modélisation de la dispersion atmosphérique est venue compléter les réseaux de capteurs sur les sites, de manière à faciliter la gestion de la pollution par les industriels. Aujourd'hui les outils de dispersion atmosphérique appliqués aux milieux industriels sont voués à diverses utilisations. En effet, la surveillance d'un site peut être réalisée sur divers fronts rassemblant des simulations d'évènements de pollution passés et des études prévisionnelles représentées par :

- Les études d'impact environnemental : Ces études permettent de rechercher l'influence du milieu industriel, de manière temporaire mais aussi permanente, sur son environnement. Elles mettent ainsi en évidence, par l'intermédiaire de simulations de dispersion atmosphérique, les zones à forte pollution mais aussi les sources qui contribuent à cette pollution.
- Les études de danger : Ces études permettent de mettre en évidence les scénarios d'accidents envisageables et leurs effets sur les personnes et l'environnement. Ces scénarios sont ainsi étudiés par des modèles de calcul de dispersion atmosphérique en testant diverses configurations atmosphériques et géométriques.
- La surveillance des sites et gestion de crise : La surveillance des sites est réalisée par des codes de dispersion atmosphérique utilisant les prévisions météorologiques sur le site afin de prévoir l'impact du site industriel sur son environnement. La surveillance des sites se fait aussi de manière instantanée grâce aux réseaux de capteurs présents sur ces sites.

Chacune de ces utilisations des outils de dispersion possède des caractéristiques bien différentes, que se soit au niveau de la géométrie prise en compte, du temps de calcul envisageable, mais aussi au niveau des modèles de dispersion utilisés. Par conséquent, il n'existe alors pas de modèle universel et les codes de calculs développés sont adaptés à une gamme d'échelles et de problématique bien précise.

Dans ce contexte de restriction des normes de pollution, Sonatrach est dotée d'un modèle (ARIA IMPACT) de dispersion atmosphérique permettant le contrôle des émissions des différentes activités industrielles situées au niveau du pôle industriel d'Arzew. Ce modèle est adapté au milieu industriel, il est opérationnel de manière à analyser le problème de la pollution atmosphérique, à savoir caractérisations des rejets, étude des émissions et des concentrations dans l'air, proposition de réduction des émissions atmosphériques.

IV.2. Généralité sur la modélisation de la dispersion atmosphérique

La modélisation de la dispersion atmosphérique est une simulation de la dispersion de panaches de pollution dans un contexte et une temporalité donnée, faite à l'aide d'outils mathématiques et de logiciels informatiques et cartographiques. L'un des buts de la modélisation de la dispersion atmosphérique est d'obtenir une cartographiée des concentrations de substances gazeuses ou particulaires dans l'atmosphère, suffisamment précise et représentative des conditions réelles, dans le temps et dans l'espace d'évaluer l'impact des polluants sur les la qualité de l'air ambiant.

La modélisation présente un intérêt particulier, les équations de chimie et de dispersion atmosphérique de substances polluantes étant résolues en tous points du domaine avec une résolution spatiale laissée au choix de l'utilisateur. La modélisation permet par exemple de :

- Établir des scénarios à différentes échelles.
- Évaluer l'exposition des populations.
- Définir une stratégie pour des plans de réductions des émissions, et leur évaluation.
- Suivre une masse d'air polluée par un rejet accidentel.

Ou bien également prévoir les pics de pollution dans le cadre de la surveillance réglementaire. De plus, la modélisation de la qualité de l'air occupe une place importante dans les processus de décisions en matière de pollution atmosphérique et de mise en œuvre de politiques publiques.

Afin d'estimer ces concentrations, des données d'entrée doivent être fournies aux modèles, telles que les variables météorologiques et les émissions, ou encore les conditions géographiques du domaine d'étude.

IV.3. Modelés de dispersion atmosphérique

Il existe trois grandes catégories de modèles qui permettent le calcul de la dispersion atmosphérique et qui peuvent être utilisées pour la surveillance de sites industriels.

IV.3.1. Modèles gaussiens (ADMS, Aria Impact, TRAMES, etc.) : Ils sont basés sur des solutions analytiques de l'équation d'advection-diffusion (Vendel, 2011). Ces modèles sont

bien adaptés à des études opérationnelles (calcul en temps réel, étude d'impact) car ils nécessitent des temps de calculs limités et permettent ainsi l'étude d'un grand nombre de cas, comme l'exemple de la figure IV.1.

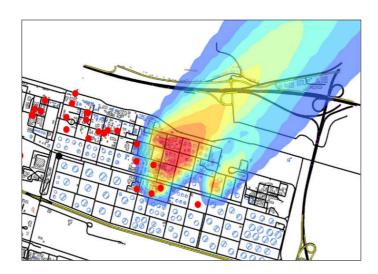


Figure IV.1: Exemple d'utilisation d'ADMS sur la raffinerie de Normandie. (Vendel, 2011)

IV.3.2. Modèles lagrangiens (MSS (Aria Technologies), FLEXPART, HYSPLIT, etc.): Ils sont basés sur le calcul des trajectoires turbulentes d'un grand nombre de particules représentant le polluant. Ils peuvent être utilisés pour des études d'impact et les résultats obtenus avec ces Modèles sont généralement bien adaptés au champ proche des sources. De plus, ils ne sont pas adaptés pour traiter un grand nombre de sources pour un site industriel (Figure IV.2).

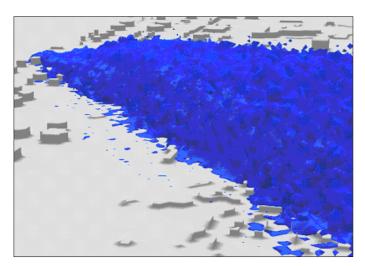


Figure IV.2: Exemple d'utilisation du modèle lagrangien MSS (Aria Technologie) sur la raffinerie de Normandie. (Vendel, 2011)

IV.3.3. Modèles eulériens (Computational Fluid Dynamics, FLUENT 6.3 (Doc FLUENT 6.3), Star CD, MERCURE (Doc. MERCURE), etc.) : Ils sont basés sur une résolution

numérique de l'équation d'advection-diffusion sur un maillage de l'espace. De manière simplifiée, ces modèles demandent différents jeux de données en entrée (sources de pollution, géographie, météorologie, etc.) (Figure IV.3).

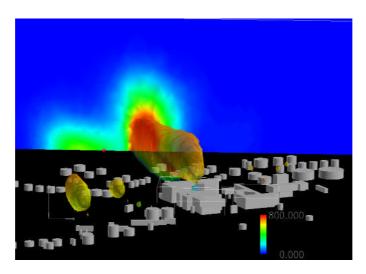


Figure IV.3: Exemple d'utilisation de FLUENT 6.3 sur la raffinerie de Donges. (Vendel, 2011)

IV.4. Présentation du logiciel de dispersion ARIA IMPACT

Le modèle utilisé pour cette étude est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. ARIA Impact est un modèle gaussien qui répond aux prescriptions de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques en France (INERIS) pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles et l'évaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des Installations Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

IV.4.1. Description du modèle ARIA IMPACT

ARIA Technologies collabore avec de nombreux clients industriels pour analyser le problème de la pollution atmosphérique, tels que les caractérisations des rejets, études des émissions et des concentrations dans l'air et propositions de réduction des émissions atmosphériques. Le modèle ARIA IMPACT est l'un des logiciels et systèmes proposés par ARIA Technologies pour la pollution atmosphérique industrielle ou urbaine, accidentelle ou chronique, et répond également à certaines demandes de modélisation en météorologie appliquée. ARIA IMPACT est un modèle permettant de connaître l'impact chronique d'une installation industrielle ou du trafic routier sur la qualité de l'air en simulant des scénarios d'émission réels ou virtuels. Il simule la dispersion atmosphérique des polluants (gazeux ou particulaires) issus de sources canalisées et fugitives en tenant compte de manière détaillée de la topographie, de l'effet des bâtiments, des données météorologiques et l'altitude. Destiné

aux industriels, aux bureaux d'études et aux collectivités locales, ARIA IMPACT permet une évaluation détaillée des risques chroniques.

IV.4.2. Caractéristiques du modèle ARIA IMPACT

Logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique ARIA IMPACT permet de répondre à l'ensemble des éléments recommandés par la réglementation sur la qualité de l'air et de fournir les éléments indispensables suivants :

- Modélisation de la pollution de l'air environnant les industries.
- Réalisation d'études (diagnostiques, préparation, supervision) dans le cadre de campagnes d'amélioration de la qualité de l'air.
- Planification et développement des stratégies de contrôles de la pollution.
- Réalisation de calculs et de cartes des émissions de polluants atmosphériques sur un quartier, une ville ou une région.
- Simulation des dispersions atmosphériques de tous les polluants mesurés par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air sur la zone d'étude.
- Détermination de la contribution de chaque source d'émission.

IV.4.3. Processus de modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques

Les trois processus à prendre en compte lors de la modélisation de la dispersion atmosphérique sont le transport, la diffusion et le dépôt au sol des polluants. La dispersion dépend également de plusieurs paramètres tels que les conditions de rejet (hauteur de la fuite par rapport au sol, débit massique de la fuite), les conditions météorologiques et géographiques (nature du sol, présence d'obstacles). Par conséquent, la surveillance d'un panache de polluants sur un site industriel, afin d'anticiper et de prévenir les risques, nécessite la connaissance des différentes données pouvant être classées en trois catégories.

IV.4.3.1. Émissions

Chaque polluant est issu d'une source dont les caractéristiques (géométrie, position, température, concentration, etc.) influent directement sur le devenir du panache. Ces émissions peuvent être totalement identifiées à l'avance lorsque l'on se préoccupe des rejets canalisés aux cheminées des unités de raffinage, mais dans une problématique de surveillance de site, l'accent est porté sur la détermination de fuites ou d'évènements particuliers dont les caractéristiques et le nombre sont à priori inconnues.

IV.4.3.2. Données topographiques

Ces dernières rassemblent les informations liées à la géométrie des différentes structures du site étudié. C'est par exemple l'implantation des divers bâtiments, leurs tailles et leurs formes.

Mais c'est aussi les caractéristiques du sol en termes de rugosité ou de relief. Ces informations permettent de créer la géométrie à partir de laquelle les modèles numériques calculent l'écoulement. Ces informations décrivant le site étudié restent sensiblement constantes et il sera possible de les considérer comme invariantes.

IV.4.3.3. Données météorologiques

Le devenir d'un polluant est caractérisé par les conditions météorologiques. La vitesse du vent, la température, l'ensoleillement sont des paramètres qui influent sur les conditions de stratification stable ou instable de l'atmosphère, et donc sur la dispersion du panache. Ces conditions météorologiques sont changeantes au court du temps, mais on peut considérer que chacun des différents paramètres météorologiques évoluent dans un intervalle borné.

Grâce à ces informations, il est possible avec un modèle de modéliser la dispersion d'un polluant sur un site donné. Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle ARIA Impact de modélisation pour représenter la dispersion des polluants d'une source dans un site industriel. La figure IV.4 résume la méthodologie de modélisation de la dispersion atmosphérique dans un site donné.



Figure IV.4 : Méthodologie de modélisation de la dispersion atmosphérique dans un site donné.

IV.5. Modélisation de la dispersion des émissions industrielles

L'audit environnemental est un processus qui évalue périodiquement la performance et la conformité des installations mis en place pour assurer la protection de l'environnement. De ce fait, ce type d'analyse s'inscrit dans la politique de développement durable à laquelle sont soumises les entreprises industrielles depuis quelques années. Elles ont pour objet d'évaluer les effets directs et indirects sur l'environnement, notamment l'impact concernent l'air ambiant, à travers la modélisation de la qualité de l'air pour prédire ou simuler les concentrations ambiantes de polluants dans l'atmosphère, en utilisant du modèle ARIA IMPACT. Cette étude présente la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques telles que les NO_x, PM₁₀ et NH₃ émis par les activités industrielles situées au sein du pôle industriel d'Arzew et évalue leurs impacts sur la qualité de l'air en 2017, 2018 et 2019.

IV.5.1. Domaine d'étude

Deux domaines, centrés sur deux sites industriels N°1 et N°2, sont étudiés. Chaque domaine est de 10 kilomètres de côté, comme le montre la figure IV.5. La taille du domaine d'étude est choisie en fonction des paramètres des émissions (caractéristiques des cheminées), de la rose des vents, du relief et des points cibles. Le domaine d'étude est découpé en mailles, dont le pas des mailles retenu pour la simulation de la dispersion est de 100 m, car le maillage plus large ne permet pas une bonne prise en compte du relief, tandis qu'un maillage plus fin augmente trop les temps de calcul et entrerait dans les limites de validité des modèles gaussiens.

Les points cibles (zones urbaines) ont été sélectionnées en raison de leur proximité avec les sources d'émission des complexes industriels N°1 et N°2 en tenant compte de la direction des vents dominants pendant les périodes d'étude. De plus, ces points récepteurs sont inclus dans les deux domaines d'étude. Les zones urbaines RC1, RC2, RC3, RC4 et RC5 sont exposés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°1, tandis que les zones RC6, RC7 et RC8 sont influencés par la dispersion des émissions du complexe industriel N° 2, comme le montre également la figure IV.5.



Figure IV.5 : Carte des domaines d'étude et de localisations des points de récepteurs.

IV.5.2. Topographie

La topographie sur les domaines d'étude a été intégrée sous forme d'une matrice numérique de terrain (M.N.T). La figure IV.6 présente une vue 2D de la topographie de la région d'Arzew. Les domaines d'étude sont situées dans une zone basse relief où la topographie est compris entre 00 mètre à 100 mètres.

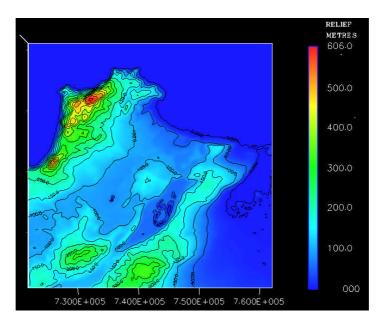


Figure IV.6: Représentation du domaine d'étude.

IV.5.3. Conditions météorologiques durant les périodes d'étude

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure et la stabilité de l'atmosphère (Seaman, 2000). Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la topographie). Les données météorologiques pour la période 2017-2019 ont été fournies par la station synoptique située à Arzew.

IV.5.3.1. Stabilité atmosphérique

La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés dispersives de l'air dans les basses couches. Il existe six catégories de stabilité de l'atmosphère : la Classe A (Très instable), la Classe B (Instable), la classe C (Légèrement instable), la classe D (Neutre), la classe E (Stable) et la classe F (Très stable) (Pasquill, 1974). Plus l'atmosphère sera stable (catégories E et F), plus les conditions de dispersion seront défavorables. Ces situations freinent le déplacement des masses d'air et se retrouvent principalement lors des vents faibles.

La figure IV.7 présente la répartition des observations météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique.

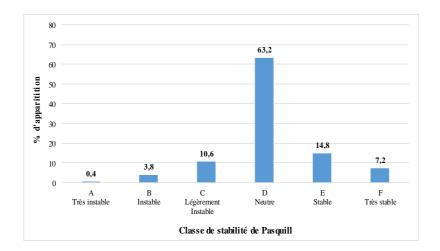


Figure IV.7 : Répartition des observations météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique (2017-2019).

La classe D est la plus fréquemment observée (63,2%). Les conditions de dispersion sont très favorables puisque 78% des observations présentent une atmosphère instable (classes A, B et C) ou neutre (classe D) et le pourcentage de vents calmes, classe A et B, est faible (4,2 %), tandis que 22 % des observations présentent une atmosphère stable (classes E et F); défavorable à la dispersion des polluants.

IV.5.3.2. Rose des vents

La figure IV.8 présente la rose des vents générale pour les trois années de mesures avec toutes les classes de vitesses confondues pour la station météorologique. Les intersections de la courbe avec les cercles de fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

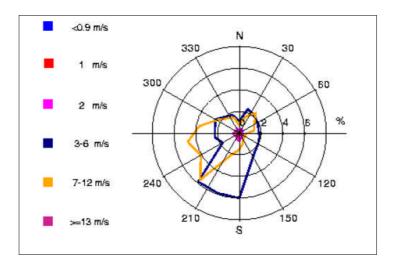


Figure IV.8: Rose des vents par classe de vitesse (2017-2019).

Au cours de la période étude, les principaux résultats retenus sont caractérisés par :

- Des vents de vitesse moyenne globale de 6 m/s.
- Des vents fréquents, de vitesse comprise entre 3 m/s et 6 m/s, venant majoritairement du secteur Sud et Sud-Ouest.
- Des vents faibles (de vitesse inférieure à 01 m/s) sont rares.
- Des vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) proviennent du quart Sud-Ouest.

Les vents de vitesse moyenne d'environ 3,4 m/s présentent une situation stable donc pénalisante pour la dispersion des émissions, tandis qu'en atmosphère neutre elle est de 07,1 m/s.

IV.5.3.3. Températures

La température de l'air est dernier paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants dans l'atmosphère. La figure IV.9 présente les variations de la température minimale, moyenne et maximale au cours de la période 2017-2019.

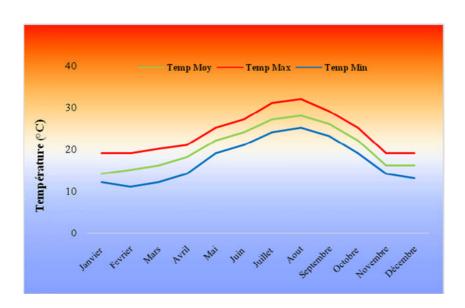


Figure IV.9: Variation moyenne mensuelle de la température de l'air (2017-2019).

Durant la période 2017-2019, les températures sont modérées et varient de 14 °C à 28 °C. Les températures les plus basses ont été enregistrées en hiver, conjointement avec la période de pluie, tandis qu'une tendance à la hausse a été enregistrée dans les périodes estivales.

IV.5.4. Description des complexes industriels

Les nuisances environnementales susceptibles d'être générées par les activités industrielles, sur lesquels l'étude sera menée, sont les émissions atmosphériques telles que les oxydes d'azote (NO_X), les particules (PM₁₀) et l'ammoniac (NH₃) issues des procédés de traitement.

Pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons pas divulguer ou préciser ces complexes industriels dans cette étude.

IV.5.5. Inventaire des émissions des activités industrielles

Généralement les procédés industriels liés aux hydrocarbures émises différents gaz tels que les particules en suspension (PM_x), les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x), le dioxyde de carbone (CO₂) et l'eau (H₂O) (Houghton et al, 2001). De nombreuses études ont montré que l'exposition aiguë et permanente aux émissions atmosphériques telles que les PM₁₀, NO_x et NH₃ est significativement associée à l'augmentation de la mortalité et de cas de maladie (Krewski et al, 2005). Les espèces retenues dans cette étude pour modéliser de la dispersion des émissions atmosphérique sont les NO_x, PM₁₀ et NH₃. Seules les émissions canalisées (cheminées) sont prises en compte dans cette étude. Les données relatives aux sources et au flux d'émissions sont récapitulées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1: Caractéristiques des sources et du flux d'émissions.

Caractéristiques	Unités	Complexe industriel N°1	Complexe industriel $N^{\circ}2$
Hauteur de cheminée	m	70	70
Diamètre cheminée	m	3,2	3,6
Débit volumique	(Nm^3/h)	$76\ 10^4$	$105 \ 10^4$

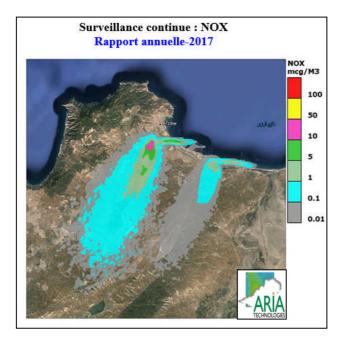
IV.5.6. Principe d'évaluation de l'impacts sur la qualité de l'air ambiant

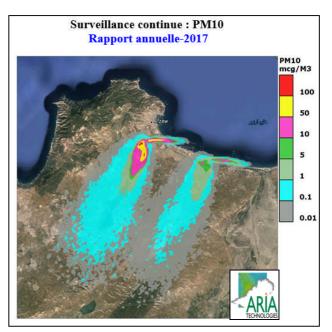
La modélisation de la dispersion atmosphérique est principalement basée sur l'évaluation de l'impact environnemental, en particulier la qualité de l'air ambiant à travers du rejet de polluants dans l'atmosphère. Dans ce contexte, les résultats de la dispersion simulée de polluants de l'air issues d'activités industrielles sont évalués au niveau des points géographiques les plus exposés de la région d'Arzew, conformément aux valeurs seuils préconisées par l'OMS pour les NO_x et les PM₁₀ et la valeur limite recommandée par l'EPA-US (Environmental Protection Agency-United States) pour le NH₃.

IV.5.7. Résultats de modélisation

Les résultats de la simulation sont présentés sous forme de cartographies pour chaque espèce étudiée. Ces cartes indiquent la répartition de la dispersion de concentrations moyennes annuelles en 2017, 2018 et 2019 de NO_x, PM₁₀ et NH₃ dans les domaines d'étude, comme le montrent les figures IV.10, IV.11 et IV.12. Les résultats de la modélisation représentent les

situations en termes d'impact et les valeurs indiquées sont les concentrations aux points géographiques les plus exposés à ces émissions d'origine industriel.





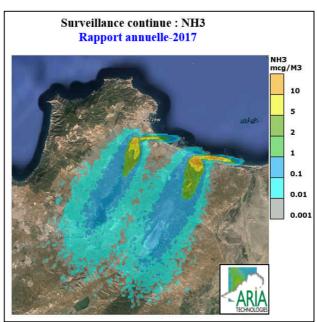
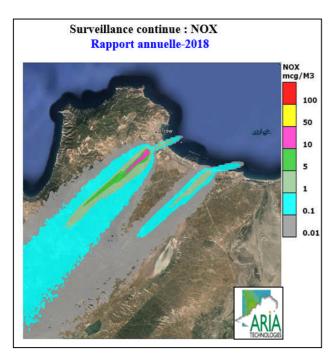
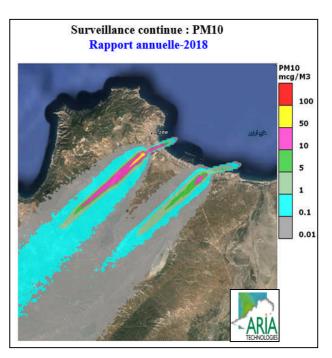


Figure IV.10 : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM_{10} , NO_x et NH_3 en 2017.





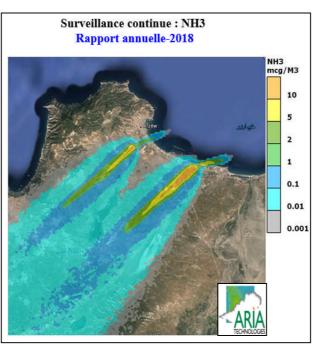
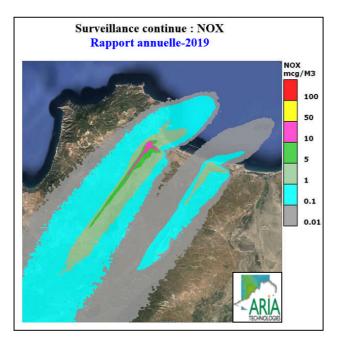
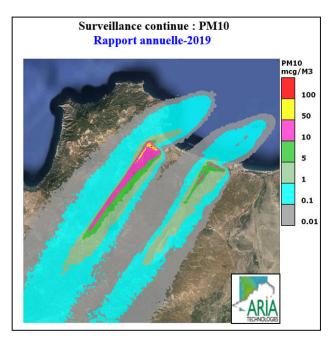


Figure IV.11 : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM_{10} , NO_x et NH_3 en 2018.





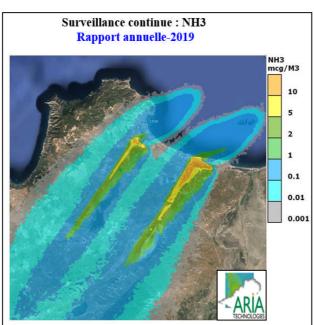


Figure IV.12 : Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM₁₀, NO_x et NH₃ en 2019.

Chapitre IV- Modélisation de la Dispersion des Émissions Industrielles

Les tableaux IV.2 et IV.3 présentent les résultats de la modélisation des polluants étudiés au niveau des sites des complexes industriels N°1 et N°2, ainsi qu'au niveau des différentes zones urbaines mentionnées précédemment.

Tableau IV.2: Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°1 en 2017, 2018 et 2019.

polluants	Année	Concentration à proximité du	Concentrations au niveau zones urbaines				Valeur seuil	
	Timee	complexe industriel N°1	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	$(\mu g/m^3)$
NO _X	2017	42	00	00.1	0.8	0.09	0.5	40
	2018	48	00	0.05	8	0.08	0.06	(NO ₂) selon
	2019	44	0.08	0.07	4.9	4.7	0.8	OMS
PM ₁₀	2017	64	00	00	01	1.4	0.6	20 selon
	2018	75	00	00.9	4.8	0.9	0.06	
	2019	73	0.05	3.9	7.2	8.6	0.03	OMS
NH ₃	2017	53	00	0.08	0.07	0.2	0.4	100
	2018	45	00	0.07	0.6	0.8	0.09	selon EPA-
	2019	44	0.6	0.8	8.8	0.9	0.3	US

Tableau IV.3: Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°2 en 2017, 2018 et 2019.

polluants	Années	Concentration à proximité du	Concentrations au niveau zones urbaines			Valeur seuil
P • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		complexe industriel N°2	RC6	RC7	RC8	(μg/m ³)
	2017	4.9	0.02	0.06	1.2	40 (NO ₂)
NO_X	2018	4.8	0.03	00.1	0.01	selon OMS
	2019	4.7	0.06	0.1	1.1	
	2017	45	0.01	2.3	2.4	20
PM_{10}	2018	42	0.07	1.1	0.01	selon OMS
	2019	43	0.05	0.9	2.9	
	2017	63	0.07	1.5	3.6	100
NH_3	2018	51	0.08	1.6	0.06	selon
	2019	69	0.8	1.3	2.1	EPA-US

Chapitre IV- Modélisation de la Dispersion des Émissions Industrielles

IV.5.8. Discussions

Durant les périodes de simulation, les concentrations de PM_{10} enregistrées à proximité des complexes industriels sont bien supérieures au seuil annuel moyen de $20~\mu g/m^3$, notamment celles observées dans le complexe industriel N°1 en 2017, 2018 et 2019, dont les niveaux ont atteint 64 $\mu g/m^3$, 75 $\mu g/m^3$ et 73 $\mu g/m^3$, respectivement. Ces concentrations excessives sont principalement dues à la proximité immédiate des sources d'émissions de PM_{10} des complexes industriels, ainsi qu'aux niveaux élevés de ce polluant généralement émis par les torches.

De très faibles niveaux d'oxydes d'azote sont enregistrés au niveau du site industriel N°2 avec une valeur maximale de 4,9 μ g/m³ en 2017, tandis que les valeurs enregistrées dans le site industriel N°1 sont relativement supérieures (42 μ g/m³, 48 μ g/m³ et 44 μ g/m³) à la valeur admissible de 40 μ g/m³. En ce qui concerne les résultats de la simulation pour le NH₃, il n'existe pas des directives de l'OMS précise quant au NH₃ émis dans l'atmosphère, mais au vu des exigences réglementaires conformément à la valeur recommandée par EPA-US fixée à 100 μ g/m³, les indicateurs d'émissions de NH₃ dans l'atmosphère répondent aux critères de qualité de l'air ambiant dans les sites industriels.

Le niveau des concentrations en moyenne annuelle calculées de polluants étudiées au niveau des zones urbaines, sont significativement inférieur aux valeurs limites préconisées. Cela s'explique, d'une part, que les zones urbaines sont éloignées des sources d'émissions, en plus des conditions climatiques favorables à une bonne dispersion de ces polluants dans les périodes d'étude. D'autre part des mesures ont été prises représentées par les deux complexes, notamment par l'optimisation des cheminées des torchères, soit minimum de 70 mètres, l'utilisation de gaz naturel comme combustible pour réduire les émissions des PM₁₀, l'utilisation de brûleurs bas-NO_x pour réduire les émissions des NO_x et le traitement des rejets atmosphériques du granulateur pour réduire les émissions en NH₃.

En général, les résultats obtenus indiquent que les niveaux des concentrations de polluants étudiés sont bien inférieurs aux valeurs limites dans les zones urbaines. Tandis que la qualité de l'air fixant la teneur en PM_{10} constitue une problématique sanitaire au niveau des sites industriels $N^{\circ}1$ et $N^{\circ}2$. Les teneurs en NO_x dans l'air au niveau du complexe $N^{\circ}1$ sont relativement supérieurs à la valeur limite préconisée par l'OMS, et restent dans les normes au niveau du site industriel $N^{\circ}2$. Pour les niveaux de NH_3 , les concentrations émises dans l'atmosphère n'ont pas atteint la limite prescrite par EPA-US.

Chapitre IV- Modélisation de la Dispersion des Émissions Industrielles

IV.5.9. Conclusion

Cette étude est menée dans le but d'évaluer l'impact de la dispersion des polluants tels que les NO_x , PM_{10} et NH_3 sur la qualité de l'air ambiant au niveau des sites industriels $N^{\circ}1$ et $N^{\circ}2$ et des zones urbaines. Le modèle de simulation ARIA IMPACT a été utilisé pour déterminer le niveau de concentration de ces polluants dans l'air ambiant en 2017, 2018 et 2019.

Les résultats de la modélisation indiquent que les polluants étudiés, émis par les deux complexes industriels, s'étendent aux zones urbaines de proximité, mais n'affecte pas la qualité de l'air ambiant conformément aux lignes directives de l'OMS et EPA-US. Cependant, au sein des complexes industriels, l'air ambiant est considéré comme assez pollué par les PM_{10} au niveau des sites industriels $N^{\circ}1$ et $N^{\circ}2$ et relativement pollué par les NO_x dans le site industriel $N^{\circ}1$.

Ces résultats confirment la nécessité des actions immédiates pour réduire les impacts négatifs des émissions, en particulier les PM_{10} , sur la santé des travailleurs et la qualité de l'air ambiant en milieu industriel.

Conclusions et Perspectives

L'objectif de cette thèse est d'évaluer l'impact des émissions atmosphériques issues de la zone industrielle d'Arzew sur la qualité de l'air ambiant. Cette évaluation s'est concentrée sur le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), l'ammoniac (NH₃), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les particules en suspension (PM₁₀) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) tels que le benzène, toluène, éthylbenzène et les xylènes, mieux connu sous l'acronyme de composés BTEX.

L'étude nous a permis de déterminer la contribution des activités industrielles à la pollution de l'air ambiant, à travers les suivis réalisés par la station de surveillance de la qualité de l'air ambiant installée au niveau de la plateforme du pôle industriel d'Arzew et également d'évaluer l'impact de dispersion des polluants industriels sur les zones urbaines en utilisant le modèle de simulation ARIA IMPACT.

La qualité de l'air est directement liée aux conditions météorologiques. En effet, elle peut varier pour des émissions du même polluant en un même lieu, selon les conditions météorologiques. Par conséquent, il est nécessaire de préciser la notion de situations météorologiques et de mener une étude sur la relation d'influence entre les conditions météorologiques et les niveaux de concentrations observés afin d'identifier et quantifier les facteurs explicatifs d'un pic de pollution. À cette fin, nous avons examiné les paramètres météorologiques tels que le régime de vent, la température de l'air et l'humidité au niveau de la zone d'étude pendant la période 2016-2019.

Au sein de la zone industrielle d'Arzew, selon les espaces et la proximité des sources d'émission, l'impact des émissions des activités industrielles sur la qualité de l'air ambiant a été évalué, à partir des mesures en temps réel, effectuées par un laboratoire de surveillance mobile destiné au suivi de pollution atmosphérique. Les émissions surveillées dans cette étude sont celles qui sont réglementées en matière de la qualité de l'air ambiant.

Durant le second semestre 2016, une étude de l'impact des émissions atmosphériques industrielles (NO, NO₂ et CO) sur qualité de l'air ambiant du pôle industriel d'Arzew, a été menée. Les résultats obtenus indiquent que l'air ambiant dans la zone d'étude est considéré comme assez pollué par les PM₁₀ avec un taux de dépassement de la valeur limite journalière de 73%, tandis que les concentrations de NO₂ et CO restent inférieures aux valeurs guides réglementaires. Il sera nécessaire d'adopter des mesures immédiates pour réduire les

émissions des particules PM_{10} dans l'atmosphère qui peuvent causer des problèmes sérieux pour la santé.

En 2017, une évaluation du niveau de la teneur en CO₂ sur la qualité de l'air a été menée dans un site situé à proximité d'activités industrielles; représentées par des complexes de traitement et de liquéfaction du gaz naturel (GNL et GPL). Les valeurs des concentrations de CO₂ pendant la saison estivale indiquent une augmentation significative par rapport à la valeur seuil. Cependant, la teneur moyenne annuelle en CO₂ reste relativement inférieure (366 mg/m³) à la valeur indicative (400 mg/m³), recommandée par la norme européenne EN 13779. Ainsi, la qualité de l'air ambiant dans la zone industrielle d'Arzew est relativement supérieure à l'objectif de la qualité de l'air fixant la teneur de CO₂.

En 2019, une campagne de mesure avait pour but d'identifier la source de pollution principale des émissions des composés BTEX provenant des différentes activités industrielles et unités de stockage d'hydrocarbures. Compte tenu du niveau de concentration des espèces de BTEX, la teneur en benzène de l'air ambiant est la plus prédominante. La distribution spatiale des concentrations de BTEX au niveau des sites de mesure indique que le complexe industriel du raffinage du pétrole est la principale source d'émissions des composés BTEX.

Durant le second semestre 2019, nous avons estimé l'impact des émissions de particules PM₁₀ sur la qualité de l'air ambiant, conformément aux lignes directrices de l'OMS, en vue de le comparer à celui observé durant la période d'échantillonnage 2016. Bien qu'une tendance à l'amélioration a été observée pendant la période 2019, par rapport à la période d'échantillonnage 2016, les émissions de PM₁₀ sont toujours problématiques et restent une cause principale de dégradation de la qualité de l'air. Ainsi, l'air ambiant est considéré comme pollué par les poussières PM₁₀ émises par les activités industrielles.

Cette étude a également mis en évidence l'impact des sources industrielles sur la qualité de l'air au niveau de deux sites industriels et des zones urbaines de proximité en 2017, 2018 et 2019, par modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques, à savoir les NO_x , PM_{10} et NH_3 , issus des activités industrielles, en utilisant un modèle de dispersion ARIA IMPACT. Compte tenu du niveau de pollution de l'air selon les lignes directrices de l'OMS, les niveaux de polluants étudiés sont bien inférieurs aux valeurs limites admissibles dans les zones urbaines les plus exposées à ces émissions. Toutefois, l'air ambiant est considéré comme assez pollué par les PM_{10} aux sites industriels $N^{\circ}1$ et $N^{\circ}2$ et relativement pollué par les NO_x au site industriel $N^{\circ}1$.

Conclusions et Perspectives

Face à la problématique de la pollution de l'air d'origine industrielle, nous proposons, à travers cette étude, de mettre en évidence différents types d'actions nécessaires ; afin de réduire les émissions de polluants atmosphériques, à savoir :

- Contrôle et évaluation de l'application du respect aux réglementations nationales en vigueur s'appliquant aux émissions des industries et l'harmoniser avec les standards internationaux afin d'assurer la pleine conformité aux normes de qualité de l'air ambiant.
- Surveillance continue des émissions de polluants atmosphériques en élargissant le champ du contrôle en mettant en place un observatoire de la qualité de l'air ambiant à l'aide d'un réseau de contrôle (stations de mesure fixes et mobiles), d'un système multi-capteurs de gaz au niveau des cheminées des torchères (à la source) et d'outils de modélisation afin d'améliorer les bases de données relatives aux émissions de polluants atmosphériques.
- Rénover les installations industrielles qui sont vieillissant, en utilisant les meilleures techniques disponibles. Par exemple, réduire les émissions en apposant des filtres en sortie de cheminées.
- Mise au point de nouvelles technologies rentables de combustion des combustibles fossiles et l'amélioration des technologies classiques, pour atteindre une réduction plus efficace des émissions de polluants atmosphériques.
- Recherche et développement de technologies avancées efficaces pour le contrôle de la pollution, avant et pendant la combustion des combustibles fossiles, ainsi que pour le contrôle des émissions de polluants après combustion.

Bibliographie

- Aime S. (1991). Thèse de doctorat. Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell oranais (Algérie occidentale). 189 p.
- Albarakeh Z. (2012). Thèse de doctorat. Suivi de pollution atmosphérique par système multicapteurs - méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne. P 9.
- Annamalai K., Puri I.K. (2007). Combustion science and engineering, CRC press, Boca Raton, Fl, USA. 775 p.
- Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) (2013) Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé.
- Arquès P., (1998). La Pollution de l'air Edisud.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (1997). Toxicological profile for benzene. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta.
- Bahi K. (2012). Thèse de magister. Contribution à l'Étude Phytoécologique des Zones Humides de la région d'Oran. Université d'Oran. 75 p.
- Bahino J., Yoboué V., Galy-Lacaux C., Adon M., Akpo A., Keita S., Liousse C., Gardrat E., Chiron C., Ossohou M., Gnamien S., Djossou J. (2018). A pilot study of gaseous pollutants' measurement (NO₂, SO₂, NH₃, HNO₃ and O₃) in Abidjan, Côte d'Ivoire: contribution to an overview of gaseous pollution in African cities. Atmospheric Chemistry & Physics. 7, 5173-5198.
- Bouscaren R. (1999). Emissions diffuses et fugitives Définitions et principes de quantification. Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique. 163, 67-79.
- Brocco D., Fratarcangelli R., Lepore L., Petricca M., Ventrone I. (1997). Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. Atmospheric Environment. 4, 557-566.
- Brooks M. (1990). The European Wind Atlas I. Troen E. L., Petersen. Bulletin of the American Meteorological Society. 5, 726-726.
- Brunekreef B., Holgate S.T. (2020). Air pollution and health. Lancet. 9341, 1233-1242.
- Buczynska A.J., Krata A., Stranger M., Godoi A.F.L., Deutsch V.K., Bencs L., Naveau I., Roekens E., Van Grieken R. (2009). Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic. Atmospheric Environment.2, 311-318.
- Buntić N., Kraljević T., Talić S. (2012). Variation of PM₁₀, NO₂, NO and O₃ in City of Mostar, Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the chemists and technologists of Bosnia and Herzegovina. Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina. 39, 7-10.
- Cavill N., Kahlmeier S., Rutter H., Racioppi F., Oja P. (2008). Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: A systematic review. Transport Policy. 15, 291-304.

- Chaudhary S., Kumar N. (2017). Qualitative and quantitative analysis of aerosols in Sonepat-A national capital region of India. Journal of Air Pollution. 6, 65-75.
- COPARLY (Comité pour le contrôle de la Pollution Atmosphérique dans le Rhône et la région Lyonnaise). (2002). Etude préliminaire de la qualité de l'air dans le métro Lyonnais. 66 p.
- Correa S.M., Arbilla G., Marques M.R.C., Oliveira, K.M.P.G. (2012). The Impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. Atmospheric Pollution Research. 3, 163-169.
- Corti T., Luo B.P., Fu Q., Vömel H., Peter T. (2006). The impact of cirrus clouds on tropical troposphere-to-stratosphere transport, Atmospheric Chemistry and Physics. American Meteorological Society. 6, 2539-2547.
- Deletraz G. (2002) Thèse de doctorat. Géographique des risques environnementaux lies aux transport routières en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallée d'Asp et de Biriatou (Pyrénées) Université de Pau et des pays de l'Adour.
- Delmas R., Mégie G., Peuch V-H., Physique et chimie de l'atmosphère. Editions Belin. 2005, (2): 7011-3700.
- Denman K.L. (2008). Climate change, ocean processes and ocean iron fertilization. Marine ecology progress series. 364, 219-225.
- Diaf N., Bouchaour M., Merad L., Benyoucef B. (2003). Paramètres Influençant la Dispersion des Polluants Gazeux. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 139-142.
- Djellouli Y. (1990). Thèse Doctorat. Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Université des sciences et de la technologie Houari-Boumédiène, Alger. 210 p.
- Edenhofer O.R., Pichs-Madruga Y., Sokona E., Farahani S., Kadner K., Seyboth A., Adler I., Baum S., Brunner P., Eickemeier B., Kriemann J., Savolainen S., Schlömer C., Von Stechow T., Zwickel J.C. (2015). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014. Cambridge University Press.
- Elie, F., (2010). Humidité atmosphérique et précipitations. French gouvernemental institution. 01 p.
- Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J, Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S, Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., White L.L. (2014). Changements climatiques. Incidences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation. Genève, Organisation météorologique mondiale, 32 p.
- Garzon J.P., Huertas J., Magana M., Huertas M.E., Cardenas B., Watanabe T., Maeda T., Wakamatsu S., Blanco S. (2015). Volatile organic compounds in the atmosphere of Mexico City. Atmospheric Environment.119, 415-429.
- Gaur M., Singh R., Shukla A. (2016). Variability in the Levels of BTEX at a pollution hotspot in New Delhi, India. Journal of Environmental Protection. 7, 1245-1258.

- George B.J., Schultz B.D., Vette A.F., Whitaker D.A., Williams R.W., Palma T. (2011). An evaluation of EPA's National-Scale air toxics assessment (NATA): Comparison with benzene measurements in Detroit, Michigan. Atmospheric Environment. 45, 3301-3308.
- Gourgue H., Aharoune A., Ihlal A. (2015). Study of the air pollutants dispersion from several point sources using an improved gaussian model. Environnement, Risques Santé. 6, 1584-1591.
- Grosse Y., Loomis D., Lauby-Secretan B., Ghissassi F.E., Bouvard V., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Baan R., Mattock H., Straif K. (2014). IARC evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution. Environnement, Risques et Santé.4, 347-352.
- Hadfield L., Seaton R.A.F. (1999). A co-evolutionalry model of change in environmental management. [Revue] // Futures. 31, 577-592.
- Heck T., Hirschberg S., Heck T., Hirschberg S., China: Economic impacts of air pollution in the country. In: Nriagu JO (ed.) Encyclopedia of Environmental Health. Burlington: Elsevier. 2011, (1): 625-640.
- Hoque R.R., Khillare P.S., Agarwal T., Shridhar V., Balachandran S. (2008). Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India. Science of the Total Environment.1, 30-40.
- Houghton J. T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., ven der Lindre P.J., Dai X., Maskell K., Jhonson C.A., (eds.), Climate Change 2001: The physical science basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton R.A., Balancing the global carbon budget. Annual review of earth and planetary sciences. 2007, (35): 313-347.
- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Overall Evaluation of carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42, Suppl 7, World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Lyons. 1987, 38-74.
- Joos E. (1990). Modelling of power plant plume contribution to wet and dry acid deposition. EDF série A, N°01.
- Kacemi M. (2006). Protection du littoral en Algérie entre politiques et pouvoirs locaux : le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran- Algérie). Revue en sciences de l'environnement. 17, 3.
- Khan M.F., Hirano K., Masunaga S. (2010). Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama, Japan. Atmospheric Environment. 44,2646-2657.
- Khoder M.I. (2007). Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo. Atmospheric Environment. 41,554-566.
- Kim N.K., Kim Y.P., Kang C.H. (2011). Long-term trend of aerosol composition and direct radiative forcing due to aerosols over Gosan: TSP, PM10, and PM2.5 data between 1992 and 2008. Atmospheric Environment. 34, 6107-6115.
- Koga, M., Yoshifumi Hanada Y., Zhu J., Nagafuchi O. (2001). Determination of ppt levels of atmospheric volatile organic compounds in Yakushima, a remote south-west island of Japan. Microchemical Journal. 68, 257-264.

- Krewski D., Burnett R.T., Goldberg M., Hoover, K., Siemiatycki J., Abrahamowicz M., Villeneuve P.J., White W. (2005). Reanalysis of the Harvard six cities study, Part II: sensitivity analysis. Inhalation Toxicology.17, 343-353.
- Krysta M. (2006). Thèse de doctorat. Modélisation numérique et assimilation de données de la dispersion de radionucléides en champ proche et à échelle continentale, Val de Marne, coll. Université Paris XII.196 p.
- Lacressonniere G. (2012). Thèse de doctorat. Etude par modélisation numérique de la qualité de l'air en Europe dans les climats actuel et futur. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Larbi S. (2014). Thèse de Magister. Traitement de dioxyde et monoxyde de carbone par plasmas froids dans le mélange O₂/CO₂. Université d'Oran des sciences et de la technologie. 11 p.
- Latrous H., El Mahi A. (2004). Analyse de longues séries en vue du changement climatique. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. Biskra.
- Lawrence A. J., Masih A., Taneja A. (2005). Indoor/outdoor relationships of carbon monoxide and oxides of nitrogen in domestic homes with roadside, urban and rural locations in a central Indian region. Indoor Air. 2, 76-82.
- Le Quéré C., Peters G. P., Andres R. J., Andrew R. M., Boden T., Ciais P., Friedlingstein P., Houghton R. A., Marland G., Moriarty R., Sitch S., Tans P., Arneth A., Arvanitis A., Bakker D.C.E., Bopp L., Canadell J. G, Chini L.P., Doney S.C., Harper A., Global carbon budget 2013. Earth System Science Data Discussions. 2013, (2):689-760.
- Leduc R., Gervais R. (1985). Connaître la météorologie. Montréal, Presses de l'Université du Québec. 320 p.
- Lesieur M. (1994). La turbulence dans l'environnement et en aéronautique. La Houille Blanche. 6, 100-109.
- Li H., Guo B., Han M., Tian M., Zhang J. (2015). Particulate matters pollution characteristic and the correlation between PM (PM_{2.5}, PM₁₀) and Meteorological Factors during the summer in Shijiazhuang. Journal of Environmental Protection. 6, 457-463.
- Li-Shun L., Bo-Huei L., Tin-Chi W. (25006). Air Pollution in Asia. Interactive Qualifying Project.
- Llop S., Ballester F. (2008). Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women. Atmospheric Environment. 42, 2982-2992.
- Lô M. M. (2008). Croissance économique et protection de l'environnement : cas CO₂ au Sénégal. Mémoire de DEA en Economie, Université Gaston Berger de Saint-Louis.
- Loomis D., Grosse Y., Lauby-Secretan B., El Ghissassi F., Bouvard V., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Baan R., Mattock H., Straif K. (2014). The carcinogenicity of outdoor air pollution. Environnement, Risques Sante.13, 347-352.
- Majumdar D., Mukherjeea A.K., Sen S. (2011). BTEX in Ambient Air of a Metropolitan City. Journal of Environmental Protection. 2, 11-20.
- Mandija F. (2013). Particulate matter concentrations over the region of north-west of Albania. Journal of Materials and Environmental Science. 6, 915-920.

- Marć M., Bielawska M., Wardencki W., Namieśnik J., Zabiegała B. (2015). The influence of meteorological conditions and anthropogenic activities on the seasonal fluctuations of BTEX in the urban air of the hanseatic city of Gdansk, Poland. Environmental Science and Pollution Research. 22, 11940-11954.
- Marim H.M., Bashir M.E., Abdelelah M.E., Lgaz H., Jodeh S., Chetouani A., Salghi R. (2016). The environmental impacts of generated air pollution in Omdurman industrial and residential area, Khartoum State, Sudan. Moroccan Journal of Chemistry. 3, 830-837.
- Mayer, H., (1999). Air pollution in cities. Atmospheric Environment. 33, 4029-4037.
- Medina S., Ballester F., Chanel O., Declercq C., Pascal M. (2013), Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: Useful estimations for public health action. J. Epidemiol. Commun. Health. 67, 480-483.
- Medjahed B., Djellouli A., Hamidat. D., Bouzit M. (2018). Impact of methane combustion and its dispersion on urban area air quality. Journal of Environmental Engineering and Science. 4, 387-397.
- Medjahed B., Naili S., Bouzit M. (2017). Experimental study of the impact of pollutants on air quality in the urban city. Journal of Materials and Environmental Science. 8, 144-153.
- Melquiot P. (2004). Mémento de la réglementation environnementale française et européenne. Recyconsult, Lyon, France.
- Meng Z. Y., Lin W. L., Jiang X. M., Yan P., Wang Y., Zhang Y. M., Jia X. F., Yu X. L. (2011). Characteristics of atmospheric ammonia over Beijing, China. Atmospheric Chemistry and Physics. 12, 6139-6151.
- Michelot N. (2014). Thèse de doctorat. L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes-Maritimes. University de Nice Sophia-Antipolis. p 235.
- Mollenhauer K., Tschöke H. (2010). Handbook of Diesel Engines. Springer. 370, 445-446.
- Naili S., Morsli A. (2020). Impact of Industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (north-western Algeria). International Journal of Environmental. 77,1-13.
- Naili S., Morsli A. (2021a). Impact of industrial atmospheric emissions (PM_{10}) on ambient Air quality in the region of Arzew, Algeria. Applied Journal of Environmental Engineerin Science. 7, 1-10.
- Naili S., Morsli A. (2021b). Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in Arzew Area, Oran State, Algeria. International Journal of Information Technology and Applied Sciences. 3, 38-42.
- Naser T.M., Kanda I., Ohara T., Sakamoto K., Kobayashi S., Nitta H., Nataami T. (2009). Analysis of traffic-related NO_x and EC concentrations at various distances from major roads in Japan. Atmospheric Environment. 43, 2379-2390.
- Ngo C., Regent A. (2008). Déchets, effluents et pollution : impact sur L'environnement et la santé. 2eme edition. Paris: DUNOD. Chap.6; air, sol, air, 91.

- Omidvarborna H., Kumar A., Kim D.S. (2015). NOx emissions from low-temperature combustion of biodiesel made of various feedstocks and blends. Fuel Processing Technology. 140,113-118.
- ORS., (2007). Les composés organiques volatils (COV) [Rapport]. Ile-de-France : Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.
- OSHA Occupational Exposure to Benzene; Emergency Temporary Standards, Hearing May 3, (1977) Part IV, Fed. Reg. 42, 22516-22529.
- Pascal L., (2009). Effet à court terme de la pollution atmosphérique sur la mottalité. Revue française d'allergologie. 49, 466-476.
- PasquiiI F. (1974). Atmospheric Diffusion, Ellis Horwood Ltd., Chichester, revised edn., (distributed by Wiley).
- Persson A. (1998). The concept coriolis force. Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). 79, 1373-1385.
- Pope C.A. (2006). Dockery D.W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of the Air & Waste Management Association. 6, 709-742.
- Puente-Lelievre C. (2009). Thèse de doctorat. La qualité de l'air en milieu aéroportuaire : étude sur l'aéroport Paris-Charles-De-Gaulle. Université Paris XII Val de Marne. 13 p.
- Puxbaum H., Rendl J., Allabashi R. (2000). Mass balance of the atmospheric aerosol in a South African subtropical savanna (Nylsvley, May 1997). Journal of Geophysical Research Atmospheres. 16, 20697-20706.
- Quénel Q. (1997). Pics de pollution atmosphérique et santé publique : la place de l'épidémiologie. Rapport de l'Unité Santé Environnement du Réseau National de Santé Publique.
- Rahel F. (2015). Thèse de doctorat. Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique, le cas de la région d'Alger. Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf.
- Ramanathan V., Feng, Y. (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. Atmospheric Environment. 43, 37-50.
- Ramirez-Leal R., Valle-Martinez M., Cruz-Campas M. (2014). Morphology and chemical composition of PM₁₀ by SEM-EDS. Microscopy and Microanalysis. 3,1982-1983.
- Raupach, M.R., Le Quéré, C., Peters, G.P., Canadell, J.G. (2013). Anthropogenic CO₂ emissions. Nature Climate Change. 7, 603-604.
- Ristovski Z.D., Miljevic B., Surawski N.C., Morawska L., Fong K.M., Goh F., Yang I.A (2012). Respiratory health effects of diesel particulate matter. Respirology. 2, 201-212.
- Robert H. (1997). Perry et Donald W. Green, Perry's Chemical Engineers' Handbook, USA, McGraw-Hill, 7eme éd., 2400 p. (ISBN 0-07-049841-5), p. 2-50.
- Roue-le Gall A., Le Gall J., Potelon J-L. et Cuzin Y. (2014). Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils. Guide EHESP/DGS. 107-117.
- Roupsard P., Amielh M., Maro D., Copalle A., Branger H., Connan O., Laguionie P., Hébert D., Talbaut M. (2013). Measurement in a wind tunnel of dry deposition velocities of submicron aerosol with associated turbulence onto rough and smooth urban surfaces. Journal of Aerosol Science. 55, 12-24.

- Seaman N.L. (2000). Meteorological modeling for air-quality assessments. Atmospheric Environment. 4, 2231-2259.
- Seaton A., MacNee W., Donaldson K., Godden D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. Lancet. 8943,176-178.
- Seigneur C. (2011). Dépôts de polluants atmosphériques et impacts sur les écosystèmes. Laboratoire commun École des Ponts ParisTech / EDF R&D.
- Singh, R., Gaur, M., Shukla, A. (2016). Seasonal and spatial variation of btex in ambient air of Delhi. Journal of Environmental Protection. 7, 670-688.
- Smahi E.L. (2000). Thèse de Magister. Etude du phénomène d'ensablement sur le plateau de Mostaganem et proposition d'aménagement. IGAT Es-Sénia, Oran. 137 p.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K., Tignor M.M.B., Miller H.L., Climate change. The Physical Science Basis, Cambridge University Press. 2007, 996.
- Squilbin M., Davesne S. (2015). Directives de la qualité de l'air de l'organisation mondiale de la santé.
- Stocker T. F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M.M.B., Allen S.K, Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (2014). The Physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013. Cambridge University Press.
- Takada Y., Otsuka R., Tsukada K. (2015). A carbon monoxide sensing film based on hemoglobin allostery. Journal of Biomedical Science and Engineering. 4, 173-180.
- Tayeb A., Thèse de Doctorat. Audit environnemental de la région d'Arzew Wilaya d'Oran. Université d'Oran 1, Ahmed Ben Bella. 2016.
- Ung A. (2003). Thèse de doctorat. Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multi sources. Université Paris 7, Denis Diderot.
- Vendel F. (2011). Thèse de Doctorat. Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels. Ecole centrale de Lyon.
- Viers G. (1968). Eléments de climatologie. F. Nathan (Ed), Paris, coll. FAC. 224 p.
- Wadge A., Salisbury J. (1997). Benzene, national environmental health forum monographs, air series No 02. National Environmental Health Forum. 1-16.
- Zenata K., Hamou A., Abderrahim H., Bouziani M., Zanoune Y. (2010). La pollution de l'air dans la wilaya d'Oran. Communication Science & technologie. N° 8.

Publications



International Journal of Environmental Studies



ISSN: 0020-7233 (Print) 1029-0400 (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/genv20

Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (northwestern Algeria)

Said Naili & Amine Morsli

To cite this article: Said Naili & Amine Morsli (2020) Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (north-western Algeria), International Journal of Environmental Studies, 77:1, 1-13, DOI: 10.1080/00207233.2018.1517956

To link to this article: https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1517956

	Published online: 24 Sep 2018.
	Submit your article to this journal $oldsymbol{G}$
ılıl	Article views: 82
Q ^L	View related articles ☑
CrossMark	View Crossmark data ☑



ARTICLE



Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (north-western Algeria)

Said Naili (Da and Amine Morsli (Da,b

^aDepartment of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry, University of Science and Technology Mohamed Boudiaf, Oran, Algeria; ^bDepartment of Materials Chemistry, Faculty of Chemistry, University Oran, Oran, Algeria

ABSTRACT

The main objectives were to identify the source and to assess the level of atmospheric pollution, in accordance with national legislation and World Health Organization (WHO) regulations. This work focused on the impact of atmospheric emissions, such as particulate matter (PM₁₀), nitrogen oxides (NO_x = NO + NO₂), and carbon monoxide (CO) generated by industrial activities of petroleum refining, liquefied natural gas processing and petrochemicals, on ambient air quality in the region of Arzew (Algeria) during the period July 1 to December 31, 2016. The study revealed that PM₁₀ levels largely exceeded the daily limits recommended by the WHO on most monitoring days; but the concentrations of NO₂ and CO remained below those limits. This study also demonstrated that PM₁₀ levels depend on industrial emissions rates and weather seasons, peaking in autumn mainly because of the relatively stable meteorological conditions.

List of Abbreviations: NO= Nitrogen Monoxide; NO2= Nitrogen Dioxide.

KEYWORDS

Atmospheric pollution; air quality; industrial emissions

Introduction

Ambient air pollution represents the biggest environmental threat to human health across the world. In 2013, the World Health Organization (WHO) classified outdoor air pollution as carcinogenic to human beings [1]. Epidemiological studies have repeatedly shown that there is a relationship between air pollution, mainly from particulate matter and gases, and the number of diseases in people with respiratory problems, as well as the number of deaths from cardiovascular and respiratory diseases in the elderly [2,3]. Air pollution is the result of multiple anthropogenic factors, particularly industrial factors. Air pollution, especially from oil–gas industry emissions, including mining, refining, storage, transportation between different storage facilities and refuelling, is complex. It includes particulate matter (PM₁₀) [2–19], nitrogen oxides (NO_x) [18,20–26], carbon monoxide (CO) [4,19,27–29], and volatile organic compounds (VOCs) [30–32]. Industrial activities are more dangerous in densely populated places, such as the industrial cities [33,34] where large populations are exposed to the air pollutants. The main source of air pollution in the study region of Arzew comes from hydrocarbon industrial activities, both point and fugitive emissions. Knowledge and control



of these emissions are important prerequisites to quantifying and subsequently mitigating the impact of industrial pollution.

Standards for PM₁₀, NO₂ and CO in air quality

The World Health Organization (WHO) guideline values for pollutants that are measured in this study are listed in Table 1 [35].

Materials and methods

In this study, the monthly, daily and hourly variations of PM₁₀, NO₂, NO and CO were analysed in the industrial zone of Arzew.

Sampling site

This study was carried out from July 1 to December 31, 2016, in the region of Arzew, characterised by hydrocarbons industrial activities. With an area of 2700 ha, this industrial zone extends over about 12 km, along the Bay of Arzew. It includes natural gas processing and liquefaction, petroleum refining and petrochemicals. The mobile ambient air monitoring station was placed in an industrial site near a residential area whose coordinates are: Latitude - 35° 49'16.52 'N and Longitude - 0° 17'54.34' W, at 53 m above sea level (Figure 1), and less than 300 m from the western residential part of the small town of Ain El Bia, whose population was estimated to be 609,940 in 2016.

Meteorological parameters in the sampling site

The levels of this type of pollution depend on the meteorological conditions such as the atmospheric boundary layer stability, speed and direction of wind, temperature, humidity, turbulence, precipitation, topography, etc [36]. These factors control the transport, distribution and impacts of these pollutants on the quality of ambient air. Some of the parameters that characterise the climate, such as the wind speed, wind direction, humidity, rainfall and temperature in the study area were investigated in this study. These parameters were evaluated by the weather station of Arzew (National Meteorological Office) during the measurement period. The distance between the weather station and the air quality monitoring site is 850 m. Table 2 shows the meteorological parameters recorded in this study.

Table 1. Guideline values for ambient air pollutants.

Pollutant	Guideline value (µg/m³)	Exposure time (hour)
PM ₁₀	50	24
PM ₁₀ NO ₂ CO	200	01
СО	30 000	01

Source: WHO (2015)



Figure 1. Geographical location of the measurement site.

Table 2. Monthly averages of meteorological parameters during the sampling period.

Months	Wind speed \overline{X} (m/s)	Wind Direction (frequency)	Humidity \overline{X} (%)	Temperature \overline{X} (°C)	Rainfall \overline{X} (mm)
July	15	NNE	61	25	00
August	13	NNE	65	25	00
September	13	NE	70	24	0.5
October	11	W	75	22	03
November	12	W	75	17	39
December	09	NE	90	14	12

Sampling and methods of measurement

The ambient air quality monitoring system (mobile laboratory) was manufactured by Environment S.A. This system is composed of several transducers and analysers using various instrumentation techniques.

 PM_{10} was measured by the beta radiation absorption method (model: MP101ML-035). The gas sample was drawn using a fibreglass filtration tape and the system recorded the volumetric flow of gas. The dust particles were then trapped by the filter tape and measured radiometrically. The radiometric measurement was carried out using a Carbon 14 source (14 C) and a radioactive radiation detector (Geiger-Müller counter). The low-energy beta rays are absorbed during their collision with electrons; their number is proportional to the density of gas. Therefore absorption becomes a function of the mass of the irradiated material, but is independent of its physicochemical nature.

 NO_2 and NO were measured by the chemiluminescence method (model AC32M-04-R108). Chemiluminescent $NO-NO_2-NO_x$ monitors directly measure the NO and NO_x

concentrations. The concentration of NO₂ is calculated by subtracting the measured NO concentration from the measured NO_x concentration.

CO was measured by the infrared correlation method (Model: CO12M-R045). This model is based on the principle of infrared absorption, according to the Beer-Lambert law. Concentration of CO in the carbon monoxide (CO) sample was found by measuring the amount of infrared light absorbed by the sample gas. The CO absorption spectrum is characterised by a band around 2141 cm⁻¹.

Results

Table 3 shows the monthly mean concentrations of the pollutants studied during the measurement period.

As Table 3 shows, the concentrations of PM₁₀, NO₂, NO and CO varied during the sampling period. The highest levels were recorded during autumn and winter. Indeed, this was 74 μg/m³ for PM₁₀ in October, 42.59 μg/m³ for NO₂ in December, and 7.13 μg/ m³ for NO in September. These excessive concentrations are mainly owing to the prevailing low-pressure weather conditions that are unfavourable to a good dispersion in the atmosphere, as well as to the high levels of pollutant emissions. In summer, these pollutants showed the lowest concentrations in 24 h, i.e. PM₁₀ (48.54 μg/m³), NO₂ $(9.46 \mu g/m^3)$ and NO $(1.01 \mu g/m^3)$. Note that the CO content during the measurement period was very low; the maximum value was recorded in summer (2.91 mg/m³) and the lowest in winter (0.36 mg/m³). This difference is mainly attributed to the reduced rate of carbon monoxide emission by the combustion of fossil fuels.

As Figure 2 shows, the average hourly concentrations of NO₂, within 24 h, were low (less than 25.75 μg/m³ in hourly average) below the air quality threshold (200 μg/m³ in hourly average) during the measurement period. NO2 reached a maximum hourly average concentration of 91.10 µg/m³ at 21.00 in the winter season (December). In summer, the lowest average concentration of this pollutant (5.91 µg/m³) was recorded in August at 09.00. Similar profiles were observed for the curves of the hourly variation of mean concentrations of NO. An exception was noted in the month of September, where a fairly high value was recorded at 09:00 (27.56 µg/m³). The mean hourly CO levels during the measurement period were very low (less than 1.16 mg/m³ as an hourly average); and remained well below the limit value of 10 mg/m³ as an hourly average. No values exceeded the hourly average threshold for NO2 and CO during the measurement period. The curves of the hourly variation of PM₁₀ during the sampling period are characterised by high values (hourly average equal to 50.51 µg/m³). In the winter season, PM₁₀ reached a first maximum concentration of 82.56 µg/m³ at 16:00 in

Table 3. Monthly mean concentrations of PM₁₀, NO₂, NO and CO during sampling period.

Months	Particulate matter (PM ₁₀) \overline{X} (µg/m ³)	Nitrogen dioxide (NO ₂) \overline{X} ($\mu g/m^3$)	Nitrogen monoxide (NO) \overline{X} ($\mu g/m^3$)	Carbon monoxide (CO) \overline{X} (mg/m ³)
July	48.54	9.53	1.41	2.91
August	52.18	9.46	1.01	1.33
September	50.72	23.75	7.13	1.00
October	74.00	32.48	2.62	0.48
November	65.34	23.15	2.20	0.39
December	65.39	42.59	4.70	0.36

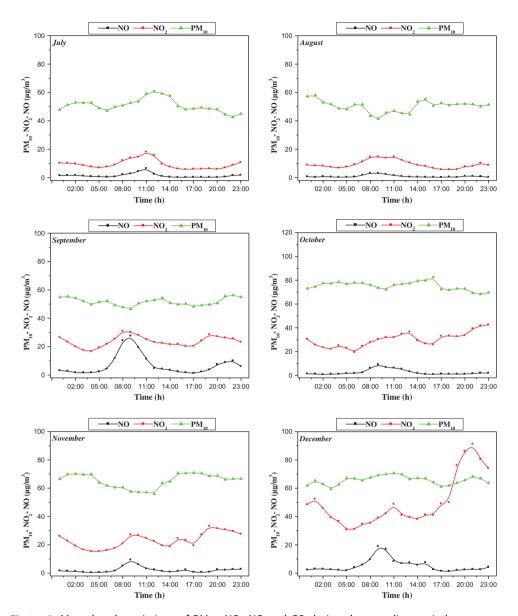


Figure 2. Mean hourly variations of PM₁₀, NO₂ NO and CO during the sampling period.

October, with a second peak of 70.83 $\mu g/m^3$ at 17:00 in November, and a third peak of 70.65 $\mu g/m^3$ at 11.00 in December. The hourly concentration values were low in summer, while the minimum value (41.56 $\mu g/m^3$) was recorded in August at 09.00.

In Figure 3, it is clearly observed that the mean daily concentrations of NO_2 during the measurement period are low (less than 23.49 $\mu g/m^3$ in hourly average). The highest hourly average limit values for NO_2 were observed during October (115.20 $\mu g/m^3$) and December (103.01 $\mu g/m^3$). Similar profiles were observed for CO, where the concentrations of this pollutant in ambient air were generally lower (less than 3.15 mg/m^3 on a daily average). The curves of the daily variation of the average concentrations of PM_{10}

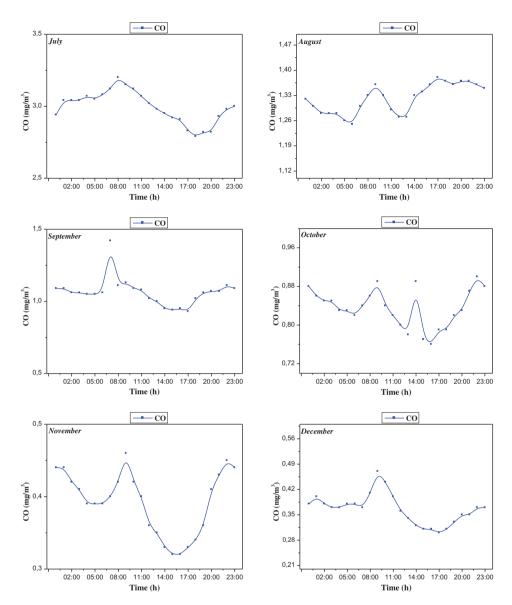


Figure 2. (Continued).

are characterised by an overrun of the threshold in the directives (50 $\mu g/m^3$ in daily average) as recommended by the WHO for most of the measurement period, specifically for the days of October, November and December. The average daily PM_{10} concentrations reached three maximum concentrations, namely 143.44 $\mu g/m^3$, 135.3 $\mu g/m^3$ and 120.13 $\mu g/m^3$, recorded in October. The lowest concentrations of this pollutant were recorded in summer, particularly in July (not exceeding 3.15 $\mu g/m^3$ in daily average).

In Figure 4, the weekly trends indicate lower average variations for NO₂, NO and CO during the working days (Sunday to Thursday) and at the weekend (Friday and

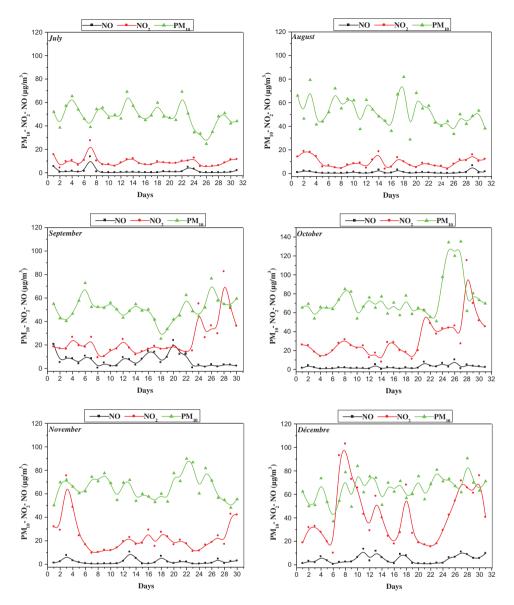


Figure 3. Mean daily variations of PM₁₀, NO₂ NO and CO during the sampling period.

Saturday). Regarding PM_{10} , high concentration values were obtained and the results showed a relatively similar weekly trend. The highest concentrations of this pollutant were also recorded on the working days, particularly on Tuesday (80.98 $\mu g/m^3$), Wednesday (84.91 $\mu g/m^3$) and Thursday (80.74 $\mu g/m^3$) during the month of October.

Discussion

The results of the seasonal variation in NO₂, NO and CO concentrations, measured by the mobile laboratory during the measurement period, showed a small variation in the

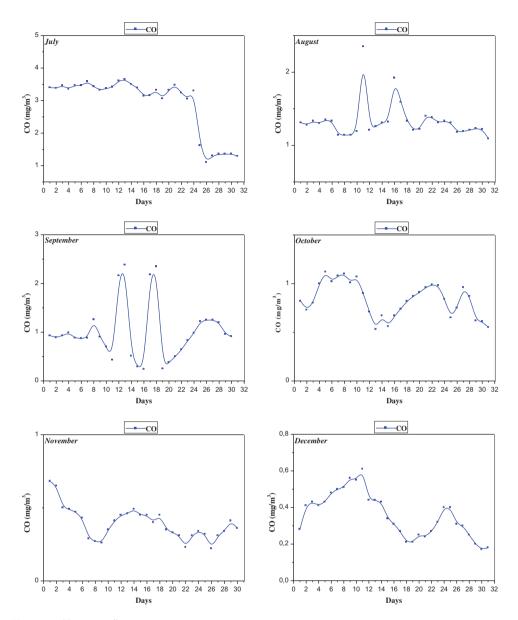


Figure 3. (Continued).

atmospheric pollutant concentrations, at the measurement site, relative to the ambient air quality pollutant limit values, with the exception of the particles PM_{10} whose concentration exceeded the WHO guideline limit. This higher PM_{10} concentration at the measurement site near the industrial emission sources could be attributed either to the point source emissions (pollutants discharged from torches or stacks) or to fugitive emissions (accidental leaks from pipelines or storage tanks), resulting from the hydrocarbon and petrochemical-related industrial activities. This increase is much less accentuated during the months of July, August and September but stronger during the

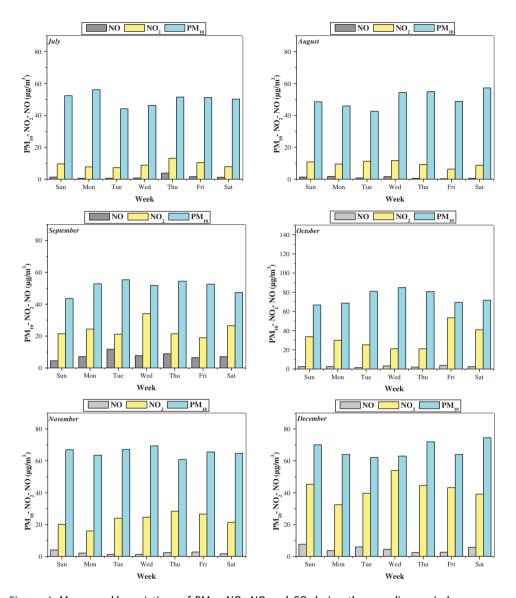


Figure 4. Mean weekly variations of PM₁₀, NO₂ NO and CO during the sampling period.

months of October, November and December. Indeed, the last three months of the sampling period coincided with the autumn and winter seasons. These wet seasons (with an average humidity level of 80%) are characterised by reduced rainfall, with relatively low and infrequent winds (an average of 11 km/h), accompanied by a decrease in temperature (an average of 18°C), which favours stagnation and consequent air saturation by the PM_{10} concentrations. The increase in the average daily PM_{10} concentrations, particularly in the month of October, may be explained by the increase in the quantity of PM_{10} particulate matter released in the atmosphere.

This situation is mainly caused by certain dysfunctions in the industrial processing operations, relating either to the transformation and liquefaction of gas, the

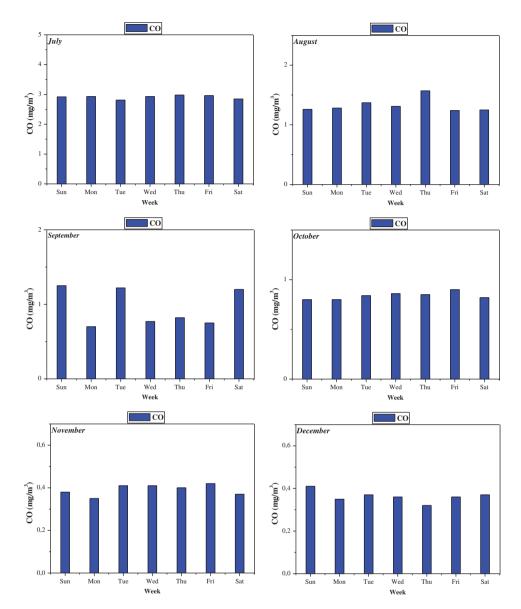


Figure 4. (Continued).

refining of petroleum or the petrochemical synthesis, with a correlation between certain meteorological parameters. During that period, relatively low temperatures (average of 22°C) combined with low winds and rainfall lead to an increase in the PM_{10} particle concentrations. In these meteorological conditions, pollutant emissions (74 μ g/m³ in monthly average) are high; they accumulate in a thin layer of the atmosphere and this causes an increase in the amount of aerosols. Daily averages exceed the guideline value of 50 μ g/m³ in a rather generalised way throughout the entire measurement period of October, with some variations from one day to



another (between 50.98 µg/m³ and 135.30 µg/m³). Pollution was the highest on October 25, 26 and 27.

In general, the 24-hour PM₁₀ concentration was on average higher (73%) than the allowable limit near the chosen measuring station in the industrial area of the town of Arzew. Thus, ambient air is considered to be fairly polluted by dust from industrial activities related to hydrocarbons. In addition, the NO₂ and CO concentrations were below the standard limit prescribed by the WHO.

Conclusion

On the basis of the results obtained from the analysis of the concentration thresholds of the pollutants studied as compared to the thresholds of the indicative limit values recommended by the WHO, it can be concluded that the NO2 and CO concentrations found in air did not reach the prescribed limits. Concerning the PM₁₀ concentrations, it was found that the values recorded in the industrial zone of Arzew exceeded the exposure limit values [6]. These results confirm the need for urgent action to reduce the negative impacts of the emission of fine particulate matter PM₁₀ on human health and ambient air quality in industrial settings.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Air Quality Investigation and Control Network at the Department of Health and Environment in the Regional Direction of the Industrial Zone of Arzew for access to its database. The authors also express their gratitude to the Arzew National Meteorological Office for providing the meteorological data used in this study.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

ORCID

Said Naili (b) http://orcid.org/0000-0001-5618-3975 Amine Morsli (b) http://orcid.org/0000-0001-9989-4013

References

- [1] Loomis, D., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Baan, R., Mattock, H., and Straif, K., 2014, The carcinogenicity of outdoor air pollution. Environnement, Risques & Santé 13, 347-352.
- [2] Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., and Godden, D., 1995, Particulate air pollution and acute health effects. Lancet 345, 176-178.
- [3] Gourgue, H., Aharoune, A., and Ihlal, A., 2015, Study of the air pollutants dispersion from several point sources using an improved Gaussian model. Environnement, Risques & Santé **6**, 1584–1591.
- [4] Sehgal, M., Tyagi, S.K., and Gautam, S.K., 2016, Air quality in Delhi: Status and concerns. International Journal of Environmental Studies 73, 905-916. doi: 10.1080/ 00207233.2016.1144378



- [5] Metghalchi, S., Knutsen, S.F., and Larry Beeson, W., 2011, Long-term ambient PM10 concentrations and incidence of emphysema in California adults: Results from the AHSMOG study. International Journal of Environmental Studies 68(6), 777-790. doi: 10.1080/00207233.2012.619840
- [6] Medjahed, B., Naili, S., and Bouzit, M., 2017, Experimental study of the impact of pollutants on air quality in the urban city. Journal of Materials and Environmental Science 8, 144-153.
- [7] Ristovski, Z.D., Miljevic, B., Surawski, N.C., Morawska, L., Fong, K.M., Goh, F., and Yang, I.A., 2012, Respiratory health effects of diesel particulate matter. Respirology 17, 201-212. doi: 10.1111/j.1440-1843.2011.02109.x
- [8] Puxbaum, H., Rendl, J., Allabashi, R., Otter, L., and Scholes, M.C., 2000, Mass balance of the atmospheric aerosol in a South African subtropical Savanna. Geophysical Research 105, 697-706. doi: 10.1029/2000JD900306
- [9] Mandija, F., 2013, Particulate matter concentrations over the region of north-west of Albania. Journal of Materials and Environmental Science 4, 915-920.
- [10] Pope, C.A. and Dockery, D.W., 2006, Health effects of fine particulate air pollution: Lines that Waste Management Association 56, 709-742. connect. Air and 10473289.2006.10464485
- [11] Khan, M.F., Hirano, K., and Masunaga, S., 2010, Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama (Japan). Atmospheric Environment 44, 2646-2657. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.03.040
- [12] Kim, N.K., Kim, Y.P., and Kang, C.H., 2011, Long-term trend of aerosol composition and direct radiative forcing due to aerosols over Gosan-TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} data between 1992 and 2008. Atmospheric Environment 45, 6107–6115. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.051
- [13] Ramirez-Leal, R., Valle-Martinez, M., and Cruz-Campas, M., 2014, Chemical and morphological study of PM10 analyzed by SEM-EDS. Air Pollution 3, 121-129. doi: 10.4236/ ojap.2014.34012
- [14] Chaudhary, S. and Kumar, N., 2017, Qualitative and quantitative analysis of aerosols in Sonepat-a national capital region of India. Air Pollution 6, 65-75. doi: 10.4236/ojap.2017.62006
- [15] Li, H., Guo, B., Han, M., Tian, M., and Zhang, J., 2015, Particulate matters pollution characteristic and the correlation between PM (PM2.5, PM10) and meteorological factors during the summer in Shijiazhuang. Environmental Protection 6, 457-463. doi: 10.4236/ jep.2015.65044
- [16] Zhou, Y., Li, L., and Hu, L., 2017, Correlation analysis of PM₁₀ and the incidence of lung cancer in Nanchang, China. International Journal of Environmental Research and Public Health 14, 1253. doi: 10.3390/ijerph14101253
- [17] Romero-Guzmán, E.T., Hernández-Mendoza, H., Kuri-Cruz, A., and Reyes-Gutiérrez, L.R., 2018, Airborne particulate material in Metropolitan zone of Toluca valley (Mexico) by SEM and ICP-SFMS. Chemistry and Ecology 34, 482-494. doi: 10.1080/02757540.2018.1433167
- [18] Dijkema, M.B.A., Zee, S.C.V.D., Brunekreef, B., and Strien, R.T.V., 2008, Air quality effects of an urban highway speed limit reduction. Atmospheric Environment 40, 1352–2310.
- [19] Sagar, K. and Srivastava, R.K., 2015, Analysis of particulate pollutant (PM 2.5) and gaseous pollutant (CO) at Jabalpur, MP. Science Environment and Technology 4, 1344-1350.
- [20] Zhang, Y., Wang, W., Shao, S., Duan, S., and Hou, H., 2017, ANN-GA approach for predictive modelling and optimization of NO_x emissions in a cement precalcining kiln. of Environmental Studies 74, 253-261. International Journal 00207233.2017.1280322
- [21] Shoko, M., Noriko, S., Shigeru, S., and Fumiyuki, A., 2011, Nobuyuki M. Evaluation of nitrogen oxides pollution in Takamatsu and Utazu area in Kagawa prefecture (Japan). Environmental Protection 2, 194-197. doi: 10.4236/jep.2011.22022
- [22] Kchih, H. and Cherif, S., 2015, Evaluation of major gas pollution and local interactions in O₃, NO_x and SO₂ in Tunis. Tunisian Chemical Society 17, 31–37.
- [23] Gaur, A., Tripathi, S.N., Kanawade, V.P., Tare, V., and Shukla, S.P., 2014, Four-year measurements of trace gases (SO₂, NO_x, CO, and O₃) at an urban location, Kanpur, in



- northern India. Journal of Atmospheric Chemistry 71, 283-301. doi: 10.1007/s10874-014-
- [24] Omidvarborna, H., Kumar, A., and Kim, D.S., 2015, NO_x emissions from low-temperature combustion of biodiesel made of various feedstocks and blends. Fuel Processing Technology 140, 113-118. doi: 10.1016/j.fuproc.2015.08.031
- [25] Sharma, D. and Kulshrestha, U.C., 2018, Chemistry of atmospheric dust and critical load assessment in Delhi region (India). Chemistry and Ecology 34, 470-481. doi: 10.1080/ 02757540.2018.1444036
- [26] Aquila, V., Oman, L.D., Stolarski, R., Douglass, A.R., and Newman, P.A., 2013, The response of ozone and nitrogen dioxide to the eruption of Mt (Pinatubo at southern and northern midlatitudes). Journal of the Atmospheric Sciences 70, 894-900. doi: 10.1175/ JAS-D-12-0143.1
- [27] Capilla, C., 2012, Application of statistical methods to assess carbon monoxide pollution variations within an urban area. International Journal of Geosciences 3, 885-890. doi: 10.4236/ijg.2012.325090
- [28] Té, Y.V., Dieudonné, E., Jeseck, P., Hadji-Lazaro, J., Clerbaux, C., Payan, S., Pépin, I., Camy-Peyret, C., Hase, F., Ravetta, F., Pelon, J., and Hurtmans, D., 2012, Carbon monoxide urban emission monitoring: A ground-based FTIR case study. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology 29, 911-921. doi: 10.1175/JTECH-D-11-00040.1
- [29] Takada, Y., Otsuka, R., and Tsukada, K., 2014, Carbon monoxide sensing film based on hemoglobin allostery. Biomedical Science and Engineering 7, 173-180. doi: 10.4236/ jbise.2014.74021
- [30] Shen, X., Zhao, Y., Chen, Z., and Huang, D., 2013, Heterogeneous reactions of volatile organic compounds in the atmosphere. Atmospheric Environment 68, 297-314. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.11.027
- [31] Gaur, M., Singh, R., and Shukla, A., 2016, Volatile organic compounds in India: Concentration and sources. Journal of Civil and Environmental Engineering 6, 5. doi: 10.4172/2165-784X.1000251
- [32] Saxena, P. and Ghosh, C., 2012, A review of assessment of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) concentration in urban atmosphere of Delhi. International Journal of the Physical Sciences 7, 850-860.
- [33] Matejicek, L., 2005, Spatial modelling of air pollution in urban areas with GIS: A case study on integrated database development. Advances in Geosciences 4, 63-68. doi: 10.5194/ adgeo-4-63-2005
- [34] Hina, S., Zahid, M., Baloch, I.H., and Pasha, T.S., 2011, Environmental impacts of Quaid-e Azam industrial estate on neighboring residential area in Lahore (Pakistan). Water Resource and Protection 3, 182-185. doi: 10.4236/jwarp.2011.33023
- [35] Squilbin, M. and Davesne, S., 2015, Directives de la qualité de l'air de l'organisation mondiale de la santé. Available online at: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/ fs313/en/(January 2015).
- [36] Seaman, N.L., 2000, Meteorological modeling for air-quality assessments. Atmospheric Environment 34, 2231–2259. doi: 10.1016/S1352-2310(99)00466-5



Impact of industrial atmospheric emissions (PM_{10}) on ambient air quality in the region of Arzew, Algeria

S. Naili (a*), A. Morsli (a)

(a) Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry, University of Sciences and Technology of Oran - Mohamed Boudiaf, El Mnaoua, BP 1505, Bir El Djir 31000, Oran, Algeria.

Corresponding author. E-mail: nailisaid66@gmail.com

Received 15 Feb 2021, Revised 15 Mar 2021, Accepted 27 Mar 2021

Abstract

The main objective was to assess the level of air pollution, in accordance with World Health Organization (WHO). This work focused on the impact of atmospheric emissions, such as particulate matter (PM₁₀) generated by industrial activities of petroleum refining, liquefied natural gas processing and petrochemicals, on ambient air quality in the region of Arzew (Algeria) during 2019. The study found that PM₁₀ level greatly exceeded (51.18 μ g/m³) the annual average (20 μ g/m³) recommended by the WHO During the sampling period. This study also demonstrated that PM₁₀ levels are dependent on industrial emission rates and weather seasons, peaking in the summer mainly due to stable weather conditions.

Keywords: Air pollution; Particulate matter (PM_{10}) ; Air quality; Industrial emission.

1. Introduction

Ambient air pollution represents the greatest environmental threat to human health in the world. In 2013, the WHO classified outdoor air pollution as carcinogenic to humans [1]. Epidemiological studies have repeatedly shown that there is a relationship between air pollution, mainly due to particles and gases, and the number of illnesses in people with respiratory problems, as well as the number of deaths from cardiovascular and respiratory diseases in the elderly [2]. Air pollution, especially from oil–gas industry emissions, including mining, refining, storage, transportation between different storage facilities and refuelling, is complex [4,5]. It includes for example particles (PM₁₀) [3-17]. Industrial activities are more dangerous in densely populated places, such as industrial cities [18,19] where large populations are exposed to air pollutants. The main source of air pollution in the study area comes mainly from the hydrocarbon activities located in the industrial area of Arzew, that they are punctual (emissions of pollutants by achimney) or fugitive (accidental releases of drains or storages) [6,7,20]. the knowledge and the control of these emissions are important data to quantify and reduce their environmental impact.

2. Experimental

2.1. Standards for PM_{10} in air quality

The World Health Organization (WHO) guideline values for pollutants that are measured in this study are listed in Table 1 [21].

Table 1. Guideline values for ambient air polluta
--

Polluant	Guideline value (μg/m³)	Exposure time
	50	daily
PM_{10}	20	Year

2.2. Sampling site

This study was carried in 2019, in the Arzew region, characterized by industrial hydrocarbon activities. Covering an area of 2700 hectares, this industrial zone stretches for approximately 12 km along the bay of Arzew. It includes the processing and liquefaction of natural gas, petroleum refining and petrochemicals. The mobile ambient air monitoring station was placed in an industrial site near a residential area whose coordinates are: Latitude - 35 ° 49′16.52 'N and Longitude - 0 ° 17′54.34' W, at 53 m above sea level (Figure 1), and less than 300 m from the western residential part of the small town of Ain El Bia.

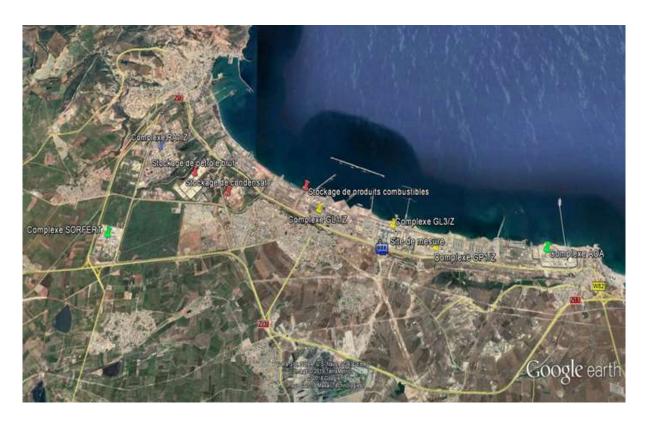


Fig 1: Geographical location of the measurement site.

2.3. Meteorological parameters in the sampling site

The levels of this type of pollution depend on weather conditions such as the stability of the atmospheric boundary layer, wind speed and direction, temperature, humidity, turbulence, precipitation, topography, etc. [22]. These factors control the transport, distribution and impacts of these pollutants on ambient air quality. Some of the parameters that characterize the climate, such as wind speed, wind direction, humidity, precipitation and temperature in the study area were studied in this study. These parameters were evaluated by the Arzew meteorological station (National Meteorological Office) during the measurement period. The distance between the weather station and the air quality monitoring site is 4 kilometers. Table 2 shows the meteorological parameters recorded in this study.

Table 2: Monthly averages of meteorological parameters during 2019.

Months	Wind speed (m/s)	Wind Direction (frequency)	Humidity (%)	Temperature (°C)	Rainfall (mm)
January	11,8	SW	71	14.3	39.6
February	7,4	NE	70	13.5	22.4
March	7,4	SW	76	16.7	10.7
April	8,2	WSW	76	16.8	25.1
May	8,2	NE	73	20.0	11.9
June	7,8	NNE	61	22.4	1.5
July	6,4	NNE	60	26.0	0.3
August	6,4	WSW	58	26.3	0.0
September	6,6	WSW	64	24.2	11.7
October	6,8	SW	66	20.9	19.3
November	7,4	WSW	66	16.7	30.5
December	10,4	SW	67	15.5	34.3

2.4. Sampling and methods of measurement

The ambient air quality monitoring system (mobile laboratory) was manufactured by Environment S.A. This system is composed of several transducers and analysers using various instrumentation techniques. PM₁₀ was measured by the beta radiation absorption method (model: MP101ML- 035). The gas sample was drawn using a fibreglass filtration tape and the system recorded the volumetric flow of gas. The dust particles were then trapped by the filter tape and measured radiometrically. The radiometric measurement was carried out using a Carbon 14 source (14^C) and a radioactive radiation detector (Geiger-Müller counter). The low-energy beta rays are absorbed during their collision with electrons; their number is proportional to the density of gas. Therefore, absorption becomes a function of the mass of the irradiated material, but is independent of its physicochemical nature.

3. Results and discussion

As Figure 2 shows, the concentrations of PM_{10} varied during the sampling period. The highest levels were recorded during summer. Indeed, this was 76.74 $\mu g/m^3$ in August and 65.75 $\mu g/m^3$ in July. These excessive concentrations are mainly owing to the prevailing low-pressure weather conditions that are unfavourable to a good dispersion in the atmosphere, as well as to the high levels of pollutant emissions. During the winter and fall seasons, this pollutant showed the lowest concentrations in 24 h, especially in January (37.21 $\mu g/m^3$), February (41.74 $\mu g/m^3$) and December (43.37 $\mu g/m^3$). These low concentrations are also directly related to the prevailing weather conditions that are favourable to a good dispersion in the atmosphere, as well as to the low levels of PM_{10} emissions in ambient air.

Figure 3 shows the hourly variation of PM_{10} during 2019. The curves of the hourly variation during the sampling period are characterised by relatively high values (hourly average equal to 51.91 $\mu g/m^3$). In the summer season, PM_{10} reached a first maximum concentration of 96,08 $\mu g/m^3$ at 19:00, with a second peak of 93.83 $\mu g/m^3$ at 20:00 in August. The lowest average concentration of this pollutant (24.31 $\mu g/m^3$) was recorded in January at 09.00. Similar profiles were observed relatively for the curves of the hourly variation of mean concentrations of PM_{10} during the winter season.

Figure 4 shows the average daily PM_{10} concentrations during the measurement period. The curves of the daily variation of the average concentrations of PM_{10} are characterised by an overrun of the threshold in the directives (50 $\mu g/m^3$ in daily average) by 42% as recommended by the WHO, specifically in the days of August, July and June. The average daily PM_{10} concentrations reached three maximum concentrations, namely 192.47 $\mu g/m^3$, 176.69 $\mu g/m^3$ and 113.74 $\mu g/m^3$, recorded in August. The lowest concentrations of this pollutant were recorded in January and February (not exceeding 37.21 $\mu g/m^3$ and 41.74 $\mu g/m^3$ daily average, respectively).

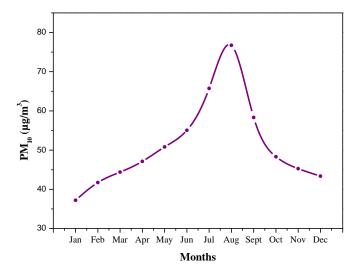
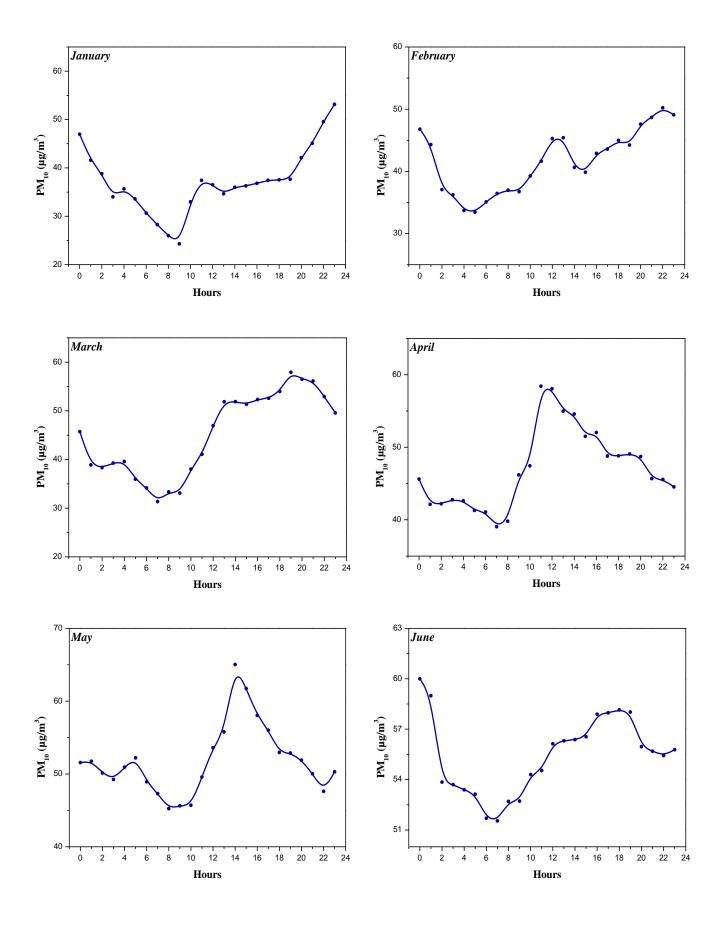


Fig 2: Mean monthly variations of PM₁₀ during 2019.



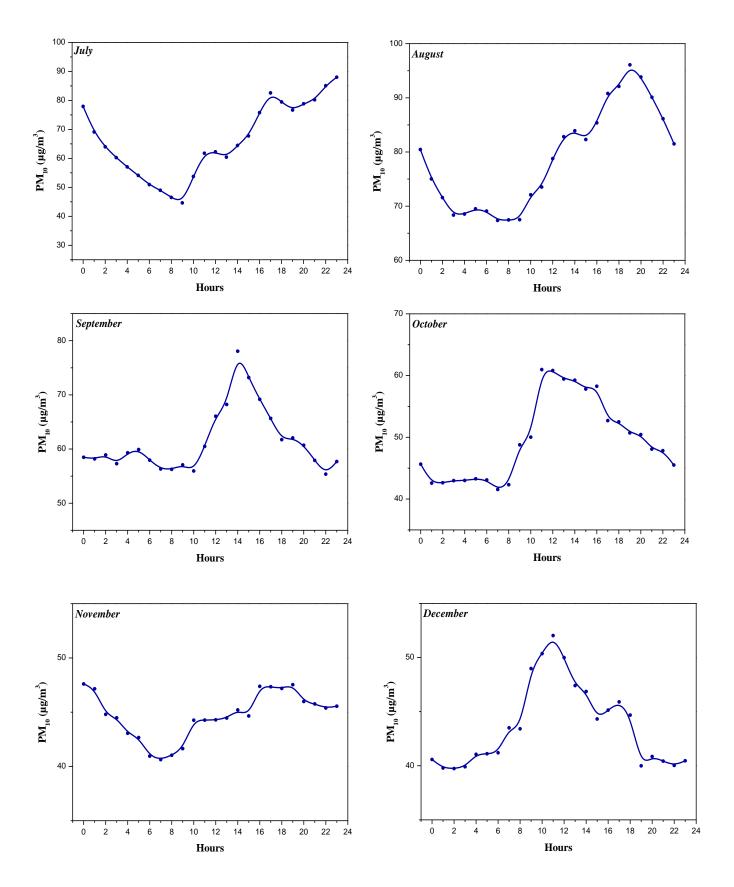
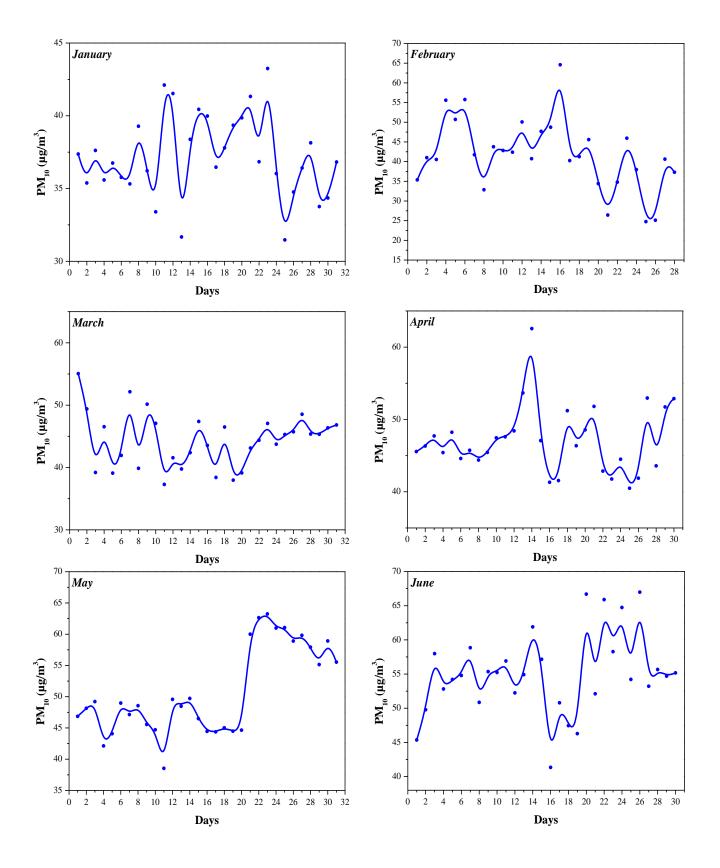


Fig 3: Mean hourly variations of PM₁₀ during 2019.



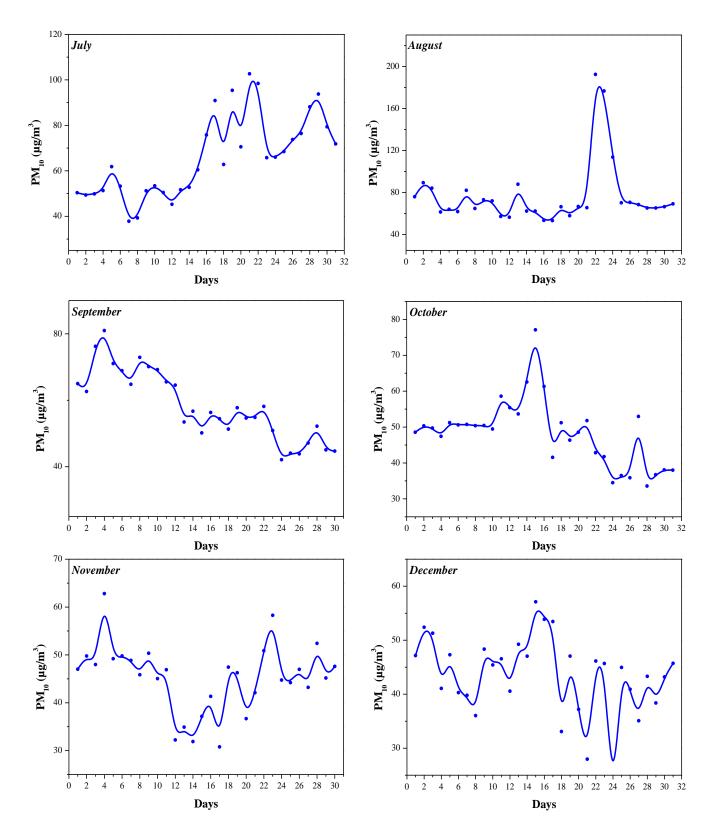


Fig 4: Mean daily variations of PM₁₀ during 2019.

The results of the seasonal variation in PM_{10} concentrations, which were measured, showed a variation during the 2019. The highest levels were recorded during summer season, especially in August and July. These excessive concentrations are mainly owing to the prevailing weather conditions during the sampling period, in addition to the proximity to industrial emission sources could be attributed either to the point source emissions (pollutants discharged from torches or stacks) or to fugitive emissions (accidental leaks from pipelines or storage tanks), resulting from the hydrocarbon and petrochemical-related industrial activities [6,7,20].

These concentrations are less severe during the months of January, February and December and relatively less during the spring and fall seasons but stronger during the months of July and August. Indeed, the first two months of the sampling period coincided with the summer season. This dry season is characterised by a sharp decrease in rainfall (an average of 0.6 mm), with weak winds (at an average of 6.9 m/s), accompanied by a rise in temperature (an average of 24.9 °C), which favours stagnation and consequent air saturation by the increase in the quantity of PM10 particles released in the atmosphere. This situation is mainly caused by certain dysfunctions in the industrial processing operations, relating either to the transformation and liquefaction of gas, the refining of petroleum or the petrochemical synthesis, with a correlation between certain meteorological parameters. During that period, relatively high temperatures combined with low winds to an increase in the PM₁₀ particle concentrations. Under these meteorological conditions, polluting emissions (An average of 65.8 μ g/m³ in the summer) are high; they accumulate in a thin layer of the atmosphere and this causes an increase in the amount of aerosols. The daily averages exceed the guide value of 50 μ g/m³ in a fairly generalised manner over the entire measurement period in August and mostly in July, with some variations from one day to another (between 37.82 μ g/m³ and 192.47 μ g/m³).

In general, the number of days in which the regulatory limit for PM_{10} was exceeded was 154 days and the average annual particulate concentration (51.18 $\mu g/m^3$) exceeded the limit value (20 $\mu g/m^3$ annual average) recommended by the WHO. Thus, ambient air is considered to be fairly polluted by dust from industrial activities related to hydrocarbons, which leads to negative effects of PM_{10} emissions on human health and ambient air quality in industrial environments.

4. Conclusion

In view of the results obtained, we can conclude that the quality of the ambient air in the Industrial Zone of Arzew is lower than the objective of the air quality setting the content of PM₁₀ dust, according to the directive of the WHO. Thus, these data confirm the need to maintain sustained action by the inspection of installations classified as Installations Classified for the Environmental Protection (ICPE) in the area of atmospheric emissions. Beyond the respect of the regulatory values which are imposed on the establishments, the action of the inspectorate aims to obtain reductions of emissions at the source, thanks to the evolution of technologies, as well as the assurance that, locally, the emissions do not create an unacceptable health risk for exposed populations.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Air Quality Investigation and Control Network at the Department of Health and Environment in the Regional Direction of the Industrial Zone of Arzew for access to its

database. The authors also express their gratitude to the Arzew National Meteorological Office for providing the meteorological data used in this study.

References

- 1. D. Loomis, Y. Grosse, B. Lauby-Secretan, F. El Ghissassi, V. Bouvard, L.Benbrahim Tallaa, N.Guha, R.Baan, H. Mattock, K. Straif, *Risques & Santé*. 13 (2014) 347-52.
- 2. A. Seaton, W. MacNee, K. Donaldson, D. Godden, Lancet. 345 (1995)176-178.
- 3. M. Sehgal, S.K. Tyagi, S.K. Gautam, International Journal of Environmental Studies. 73 (2016) 905-916.
- 4. S. Metghalchi, S.F. Knutsen, Larry W. Beeson, *International Journal of Environmental Studies*. 68 (2011) 777-790.
- 5. S. Naili, A. Morsli, International Journal of Environmental Studies. 77 (2020) 1-13.
- 6. B. Medjahed, S. Naili, M. Bouzit, Journal of Materials and Environmental Science. 8 (2017) 144-153.
- 7. Z.D. Ristovski, B. Miljevic, N.C. Surawski, L. Morawska, K.M. Fong, F. Goh, I.A. Yang, *Respirology*. 17 (2012) 201-212.
- 8. H. Puxbaum, J. Rendl, R. Allabashi, L. Otter, M.C. Scholes, Geophysical Research. 105 (2000) 697-697.
- 9. F. Mandija, Journal of Materials and Environmental Science. 4 (2013) 915-920.
- 10. C.A. Pope, D.W. Dockery, Air and Waste Management Association. 56 (2006) 709-742.
- 11. M.F. Khan, K. Hirano, S. Masunaga, Atmospheric Environment. 44 (2010) 2646-2657.
- 12. N.K. Kim, Y.P. Kim, C.H. Kang, Atmospheric Environment. 45 (2011) 6107-6115.
- 13. R. Ramirez-Leal, M. Valle-Martinez, M. Cruz-Campas, Air Pollution. 3 (2014) 121-129.
- 14. H. Li, B. Guo, M. Han, M. Tian, J. Zhang, Environmental Protection. 6 (2015) 457-463.
- 15. Y. Zhou, L. Li, L. Hu, International Journal of Environmental Research and Public Health. 14 (2017) 1247-1253.
- 16. E.T. Romero-Guzmán, H. Hernández-Mendoza, A. Kuri-Cruz, L.R. Reyes-Gutiérrez, *Chemistry and Ecology*. 34 (2018) 482-494.
- 17. K. Sagar, R.K. Srivastava, Science Environment and Technology. 4 (2015) 1344-1350.
- 18. L. Matejicek, Advances in Geosciences. 4 (2005) 63-68.
- 19. S. Hina, M. Zahid, I.H. Baloch, T.S. Pasha, Water Resource and Protection. 3 (2011) 182-185.
- 20. B. Medjahed, A. Djellouli, D. Hamidat, M. Bouzit, *Applied Journal of Environmental Engineering Science*. 4 (2018) 387-397.
- 21. M. Squilbin, S. Davesne, *Directives de la qualité de l'air de l'organisation mondiale de la santé* (2015). Available online at: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/ fs313/en/(January 2015).
- 22. N.L. Seaman, *Atmospheric Environment*. 34 (2000) 2231-2259.



International Journal of Information Technology and Applied Sciences

Int. J. Inf. Tec. App. Sci. 3, No.2 (April-2021)

https://doi.org/10.52502/ijitas.v3i2.20

Impact of Industrial Atmospheric Emissions on Ambient Air Quality in Arzew Area, Oran State, Algeria

S. Naili and A. Morsli

Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry, University of Sciences and Technology of Oran -Mohamed Boudiaf, El Mnaoua, BP 1505, Bir El Djir 31000, Oran, Algeria

Abstract: This work focuses on identifying the source of BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) emissions generated by hydrocarbon-related industrial activities and evaluation of its impact on ambient air quality according to European Union (EU) regulations during 2019. The spatial distribution of BTEX concentrations suggest that massive emissions are mainly due to the oil refining activity. BTEX concentration levels at the sampling sites show that benzene was more dominant. Considering the level of atmospheric pollution relative to the indicative value (2µg/m3) recommended by the EU, the ambient air is considered to be quite polluted with benzene content (5.36 µg/m3) produced mainly by emissions from the oil refining industrial complex.

Keywords: BTEX emissions, Industrial activities, Atmospheric pollution, Ambient air.

1. Introduction

Industrial gas emissions are some of the most important sources of environmental pollutants that can actually have negative effects on human health and environment [1]. It is important to better know and control these anthropogenic emissions in the atmosphere in order to improve the quality of air. These two actions constitute an unavoidable environmental and economic stake for the industrial world. In recent decades, global concern over the degradation of air quality has dramatically increased and several researchers have studied the impacts on the environment and human health resulting from industrial emissions in the air [2-8]. It is worth noting that industrial activities are more dangerous in densely populated areas, such as industrial cities where large populations are exposed to air pollutants [9,10]. Moreover, in professional circles, air pollution is directly linked to specific activities carried out on site; it has a direct impact on workers because of their prolonged exposure time [11].

The industrial zone of Arzew continually emits a wide range of pollutants [12-14], such as particulate matter (PM), nitrogen oxides (NOx), carbon monoxide (CO), and volatile organic compounds (VOC) of the BTEX type [15-

17], in addition to greenhouse gases such as such as carbon dioxide (CO2) and methane (CH4). These gas emissions can be either punctual (emissions of pollutants by a chimney) or fugitive (accidental releases of pipes or storage tanks). They can originate from hydrocarbon-related industrial activities, such as crude oil refining, natural gas and petrochemical processing and liquefaction complexes, as well as from hydrocarbon storage units that pose potential environmental hazards and may present a major risk to the health of workers and the health of the population living in surrounding areas [12-14].

2. EXPERIMENTAL

A. Description of the measurement campaign

During 2019, the measurement campaign included nine sampling nine sampling sites represented by four industrial sectors hydrocarbons-related, namely the petroleum refining sector, the hydrocarbon storage sector, the natural processing and liquefaction sector and the petrochemical sector, located at the platform level of the Arzew industrial area using ambient air quality monitoring stations, as shown in Figure 1 and Table 1.



Figure 1. Geographical location of different measurement sites in the industrial zone of Arzew during 2019.

TABLE I. MAIN CHARACTERISTICS OF THE DIFFERENT MEASUREMENT SITES DURING 2019.

Sectors	Industrial complexes and units	Geographical coordinates
Oil refining	Industrial complex RA1/Z	35°49'47.66"N 0°19'37.58"W
	Industrial complex LPG1/Z	35°47'57.46"N 0°13'24.72"O
Natural gas treatment	Industrial complex LNG1/Z	35°48'37.51"N 0°15'56.63"O
	Industrial complex LNG3/Z	35°48'20.03"N 0°14'18.47"W
sPetrochemical	Industrial complex SORFERT	35°48'21.16"N 0°18'47.30"W
si cirochenneai	Industrial complex AOA	35°47'50.87"N 0°10'59.67"W
	Storage of crude oil	35°49'18.26"N 0°18'48.61"W
Hydrocarbon storage	Storage of combustible products	35°48'59.89"N 0°16'14.07"W
	Condensate storage	35°48'56.92"N 0°18'0.54"W

B. Measuring device

The air quality monitoring system (Fixed measurement stations) was manufactured by Environment S.A. This system consists of several transducers and analyzers using various instrumentation techniques. Volatile organic compounds (VOCs) of BTEX type were measured by the gas chromatography method using the VOC71M analyzer model. Metrology was based on the gas chromatography technique which consists of separating the compounds of interest in combination with detection by a Flame Ionization Detector (FID). The sampling operation was done cyclically, with two tubes filled with selective sorbents. While one tube collects one sample, the other one desorbs the second sample which is then injected into a fused silica capillary column for separation. A controlled temperature gradient oven allows fast and accurate separation of the BTEX elements. The compounds of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene were identified by their elution times in the capillary column.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the average concentrations of BTEX compounds in different sectors located in the industrial zone of Arzew during 2019. The concentrations of BTEX species vary in different sectors between 0.28 µg/m3 to 5.36 μ g/m3 for benzene, 0.09 μ g/m3 to 0.61 μ g/m3 for toluene, 0.08 µg/m3 to 0.58 µg/m3 for ethylbenzene and for xylene is between 0.09 µg/m3 and 2.18 µg/m3. The highest average concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes species are observed, respectively, in the petroleum refining sector namely 5.36 µg/m3, 0.61 µg/m3, 0.58 µg/m3, 2.18 µg/m3, followed by the hydrocarbon storage sector with values of 1.97 µg/m3, 0.53 µg/m3, 0.21 μg/m3, 1.5 μg/m3, while the lowest are recorded in the natural gas processing sectors (0.53 µg/m3, 0.13 µg/m3, $0.18 \mu g/m^3$, $0.4 \mu g/m^3$) and petrochemicals ($0.28 \mu g/m^3$, $0.09 \mu g/m3$, $0.08 \mu g/m3$, $0.09 \mu g/m3$).

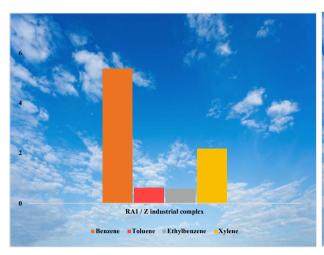
TABLE II. AVERAGE CONCENTRATIONS OF BTEX COMPOUNDS IN DIFFERENT SECTORS DURING 2019.

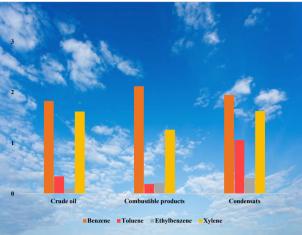
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene
Sectors			μg/m³	
Oil refining	5.36	0.61	0.58	2.18
Hydrocarbon storage	1.97	0.53	0.21	1.50
Natural gas treatment and liquefaction	0.53	0.13	0.18	0.40
Petrochemical	0.28	0.09	0.08	0.09

Figures 2 show the variations of BTEX compounds in different measurement sites represented by industrial complexes, namely RA1/Z, LNG1/Z, LNG3/Z, LPG1/Z, SORFERT and AOA, as well as hydrocarbon storage units which include crude oil storage, fuel storage and condensate storage.

The concentration of benzene is highest in the site located near the industrial petroleum refining complex (5.36 μ g/m3), while in the other measuring sites varies between 0.18 μ g/m3 and 2.12 μ g/m3. In the RA1/Z measuring site, the concentration of toluene is 0.61 μ g/m3,

ethylbenzene is $0.58~\mu g/m3$ and xylene is of the order of $2.18~\mu g/m3$, as shown in Figure 2(a). These high concentrations of BTEX compounds explain that these species come mainly from emissions from crude oil refining operations for the production of fuels such as gasoline, kerosene, diesel, fuel oil and naphtha. In addition, these high concentrations of BTEX recorded at the RA1/Z measurement site are observed in the winter season, which is characterized by low dispersion due to low wind speed (7.75~m/s) and low wind speed.





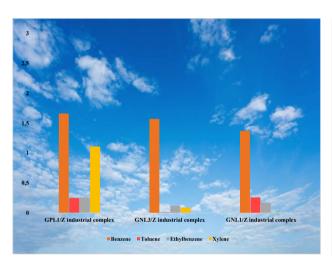




Figure 2. Variation of BTEX concentrations at measurement sites during 2019.

In sampling sites near hydrocarbon storage units, i.e. crude oil storage, fuel storage, and condensate storage, the species is also more predominant than toluene, ethylbenzene, and xylene, where the highest concentration is recorded in the fuel storage site (2.12 µg/m³), as shown in Figure 2(b). The recorded concentrations of BTEX compounds at the condensate storage site are respectively $1.95 \mu g/m3$, $1.06 \mu g/m3$, $0.31 \mu g/m3$ and $1.63 \mu g/m3$, while at the site of condensate storage, the concentrations are low $(1.83 \mu g/m^3, 0.34 \mu g/m^3, 0.1 \mu g/m^3, 1.62 \mu g/m^3,$ respectively). The relatively high concentrations of BTEX compounds recorded near the hydrocarbon storage units can be explained by the emissions due from storage tanks which contain a high density of volatile organic compounds (VOCs) such as BTEX, as they can easily be found in gaseous form in the atmosphere.

At the measurement sites located near the industrial natural gas processing complexes, namely LPG1/Z, LNG1/Z and LNG3/Z, low values are recorded for the BTEX compounds, as shown in Figure 2(c). The benzene

species is always the predominant concentration, the highest value of which is recorded for the LPG1/Z complex (1.66 µg/m3), followed by the LNG3/Z complex (1.57 µg/m3) and then LNG1/Z complex (1.37 µg/m3). The values of the concentrations of toluene and ethylbenzene are relatively similar in the complexes LNG3/Z (0.26 µg/m3, 0.22 µg/m3) and LPG1/Z (0.25 µg/m3, 0.26 µg/m3), respectively, while the LNG1/Z complex is recorded very low values, (0.01 µg/m3, 0.12 µg/m3, respectively). A high value of the xylene content is observed in the site of the LPG1/Z complex (1.11 µg/m3), while the content of this species is relatively zero in the LNG3/Z complexes (0.01 µg/m3) and LNG1/Z (0.07 µg/m3).

In the sampling sites near the AOA and SORFERT petrochemical complexes, the levels of BTEX compounds are very low compared to those observed at the hydrocarbon storage units and other industrial complexes, as shown in Figure 2(d). The average concentrations of BTEX in the AOA industrial complex (0.18 μ g/m3, 0.01

μg/m3, 0.05 μg/m3 and 0.03 μg/m3, respectively) are lower than those recorded in the industrial complex SORFERT (0.37 μg/m3, 0.16 μg/m3, 0.10 μg/m3, 0.15 μg/m3, respectively). The low concentrations of BTEX in the SORFERT and AOA petrochemical industrial complexes can be explained only in the case of the combustion of products resulting from the synthesis of ammonia from light hydrocarbons, the raw material of which contains traces of substances such as volatile organic compounds, BTEX emission levels are low in ambient air.

Figure 3 shows the annual average levels of BTEX compounds for all the sites of the Arzew industrial pole in 2019. The benzene content represents the highest value recorded at a concentration of 1.82 μ g/m3 monitored. xylene at a concentration of 0.9 μ g/m3, while toluene and ethylbenzene are recorded the lowest levels at concentrations of 0.32 μ g/m3 and 0.22 μ g/m3, or 56 %, 27 %, 10 % and 07 %, respectively.

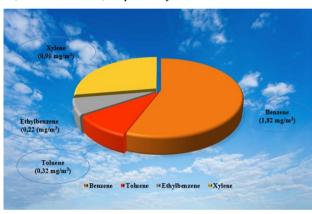


Figure 3. Distribution of annual average concentrations of BTEX in the industrial area of Arzew during 2019.

Through the recorded results of the average concentrations of BTEX compounds at the measurement sites, the high concentration of benzene indicates that this compound comes mainly from emissions from crude oil refining operations. These emissions can be either one-off, through pollutant emissions from the degassing and flaring processes of oil refinery treatment units or exhaust gas plants from the combustion of hydrocarbons, or fugitive, through leaks accidents in treatment plants and vapors of volatile organic compounds emitted from hydrocarbon storage tanks, as well as from the loading and unloading of hydrocarbons.

4. CONCLUSION

During 2019, the spatial distribution of BTEX concentrations at measurement sites near industrial complexes and hydrocarbon storage units indicates that the industrial complex for refining crude oil is the main source of emissions of BTEX compounds. Considering the level of air pollution compared to the indicative value, the average concentration of benzene at the site of the oil refining industrial complex exceeded the permissible limit

according to EU regulations. Consequently, these results confirm the need for urgent action to reduce the negative impacts of BTEX emissions, in particular benzene, on human health and the quality of ambient air in industrial settings.

REFERENCES

- H.M. Marim, M.E. Bashir, M.E. Abdelelah, H. Lgaz, S. Jodeh, A. Chetouni, R. Salghi, Moroccan Journal of Chemistry. (4) 3, 830 (2016)
- [2] R.R. Hoque, P.S. Khillare, T. Agarwal, V. Shridhar, S. Balachandran, Science of the total Environment 392 (1), 30 (2008)
- [3] M. Marć, M. Bielawska, W. Wardencki, J. Namieśnik, B. Zabiegała, Environmental Science and Pollution Research 22, 11940 (2015)
- [4] Srivastava, B. Sengupta, S.A. Dutta, Science of the Total Environment 343, (1–3), 207 (2005)
- [5] A.J. Buczynska, A. Krata, M. Stranger, A.F.L. Godoi, V. Kontozova-Deutsch, L. Bencs, I. Naveau, E. Roekens, R. Van Grieken, Atmospheric Environment 43(2), 311 (2009)
- [6] D. Majumdar, A.K Mukherjeea, S. Sen, Journal of Environmental Protection 2 (01), 11 (2010)
- [7] H.D. Rad, A.A. Babaei, G. Goudarzi, K.A. Angali, Z. Ramezani, M.M. Mohammadi, Air Quality, Atmosphere & Health. 7(4), 515 (2014)
- [8] B.P. Castro, G.S. Machado, G.F. Bauerfeldt, J.D.N. Fortes, and E.M. Martins, Atmospheric Environment 104, 22 (2015)
- [9] L. Matejicek, Advances in Geosciences 4, 63 (2005)
- [10] S. Hina, M. Zahid, I.H. Baloch, and T.S. Pasha, Water Resource and Protection 3(3), 182 (2011)
- [11] S. Naili A. Morsli. International Journal of Environmental Studies, 77(1), 1 (2020)
- [12] B. Medjahed, S. Naili, M. Bouzit. Journal of Materials and Environmental Science. 8 (1) 144 (2017)
- [13] [13] L.P.S. Cruz, L.P. Alves, A.V.S. Santos, M.B. Esteves, Í.V.S. Gomes, L.S.S. Nunes, Journal of Environmental Protection 8, 12 (2017)
- [14] B. Medjahed, A. Djellouli, D. Hamidat, M. Bouzit, Applied Journal of Environmental Engineering Science 4(3), 387 (2018)
- [15] H.A.H. Haris, T.L. Mohd, S.M.N. Mohd, U. Royston, MD.F. Khan, K. Narayana, Air Quality, Atmosphere & Health 2, 341 (2019)
- [16] H.H.A. M.T. Hamid, R.N. Latif, M.S.M.N. Uning, MD.F. T. Nadzir, G.C. Khanm, N. Kannan, Environmental Monitoring and Assessment 192, 321 (2020)
- [17] M. Moradi, P. Hopke, M. Hadei, A. Eslami, N. Rastkari, Z. Naghdali, M. Kermani. B. Emam, M. Farhadi, A. Shahsavani, Environmental Monitoring and Assessment 191, 286 (2019)

Communications

Communication N°01



This is to hereby certify that

SAID NAILI

has taken part in the Eleventh Scientific and Technical Days of SONATRACH, "JST11" that were held from 16 to 19 April, 2018, in Oran - Algeria and throughout which he presented

"Impact des émissions particulaires (PM10) sur la qualité de l'air ambiant dans la Zone Industrielle d'Arzew"

HAKIM KARA-ZAITRI
The Pedagogical responsible of the Theme

DR DJILALI BENMAHAMED

The Scientific & Program committee Chairman

SH2@30

Communication N°02

THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS & ENVIRONMENTAL SCIENCE (ICMES2016)

01-03 DECEMBER 2016

University Mohammed Premier & Faculty of Science - Oujda, Morocco

ANALYZE SEASONAL AND DAILY VARIATION OF POLLUANTS (PM₁₀, NO AND NO₂) AND IMPACT IN AN URBAN AREA

B. Medjahed, S. Naili, M. Bouzit