



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques industrielles dans la région d'Arzew- Modeling the dispersion of industrial atmospheric emissions in the region of Arzew

S.Naili^{1*}, A. Morsli¹

¹ *Département de Génie Chimique, Faculté de Chimie, Université des Sciences et Techniques d'Oran - Mohamed Boudiaf, El Mnaoua, BP 1505, Bir El Djir 31000, Oran, Algérie*

***Corresponding Author; Email:** nailisaid66@gmail.com

Received 14 October 2021, Revised 01 December 2021, Accepted 20 December 2021

Résumé : 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. Cette étude est menée dans le but d'évaluer l'impact de la dispersion des polluants atmosphériques tels que les NO_x, PM₁₀ et NH₃ sur la qualité de l'air ambiant au niveau des sites industriels et des zones urbaines en 2017, 2018 et 2019, en utilisant le modèle ARIA IMPACT. Les résultats de la modélisation indiquent que le niveau de polluants étudiés en milieu urbains est bien supérieur à l'objectif de qualité de l'air ambiant conformément à la réglementation en vigueur, alors qu'en milieu industriel, l'air ambiant est considéré comme assez pollué en PM₁₀ au niveau des sites industriels N°1 et N°2 et relativement pollué en NO_x dans le site industriel N°1.

Mots clés : Polluants atmosphériques, Qualité de l'air, Modélisation, Milieu urbains, Sites industriels

Abstract: The environmental audit is a process that periodically assesses the performance and compliance of facilities set up to ensure environmental protection. This study is carried out with the aim of evaluating the impact of the dispersion of atmospheric pollutants such as NO_x, PM₁₀ and NH₃ on the ambient air quality at the level of industrial sites and urban areas in 2017, 2018 and 2019, using the ARIA IMPACT model. The results of the modeling indicate that the level of pollutants studied in urban areas is much higher than the objective of ambient air quality in accordance with the regulations in force, while in industrial areas, ambient air is considered to be quite polluted with PM₁₀ at industrial sites N°1 and N°2 and relatively polluted with NO_x at industrial site N°1.

Keywords: Atmospheric pollutants, Air quality, Modeling, Urban areas, Industrial sites,

1. Introduction

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 [1]. D'importance nationale, le pôle industriel d'Arzew traduit une des données majeures de la politique d'industrialisation de l'Algérie [2]. D'une superficie de 2700 hectares, cette zone industrielle s'étend sur environ 12 km, le long de la baie d'Arzew. Il comprend le traitement et la liquéfaction du gaz naturel, le raffinage du pétrole et la pétrochimie [1]. Les principaux gaz émis par les activités industrielles liées à la pétrochimie sont généralement les particules en suspension (PM_{10}), les oxydes d'azote (NO_x), et l'ammoniac (NH_3), qui sont générés par les procédés de synthèse de l'ammoniac et de l'urée [3]. De nombreuses études ont montré que l'exposition aiguë et permanente aux PM_{10} , NO_x et NH_3 est positivement et significativement associée à l'augmentation de la mortalité et de la morbidité [4,5]. Ainsi, l'utilisation de la modélisation de la dispersion atmosphérique 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'événements de pollution passés et des études prévisionnelles représentées par les études d'impact environnemental, les études de danger et la surveillance des sites et gestion de crise.

2. Experimental

2.1. *Modèle 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 émissions des installations industrielles et l'évaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

2.2. *Domaine d'étude*

Deux domaines, centrés sur deux sites industriels N°1 et N°2, sont étudiés et chaque domaine est de 10 kilomètres de côté, comme le montre la [figure 1](#). 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.

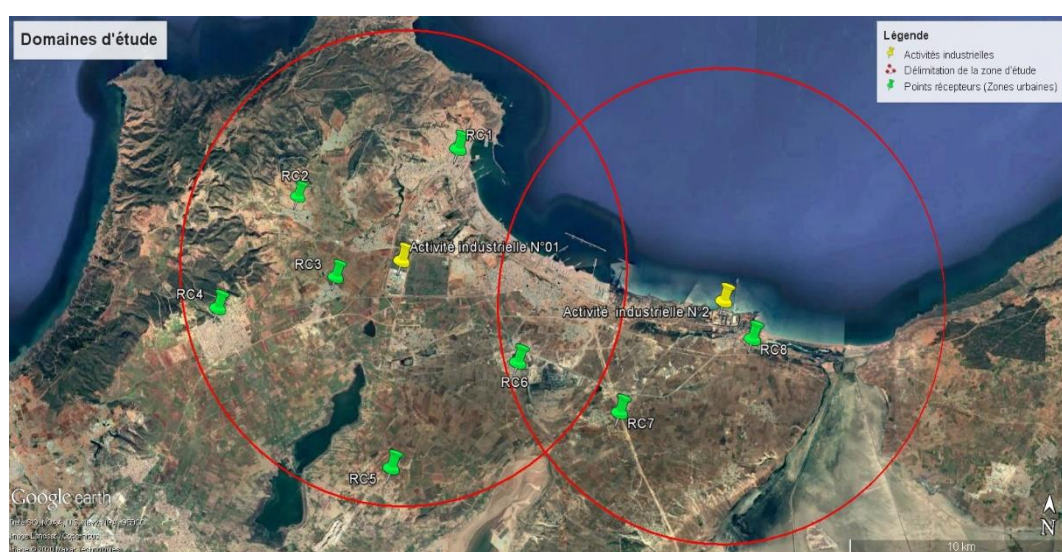


Figure 1. Carte des domaines d'étude et de localisations des points de récepteurs.

2.3. Paramètres météorologiques dans la zone d'étude

Les niveaux de ce type de pollution dépendent des conditions météorologiques telles que la stabilité de la couche limite atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, la température, l'humidité, la turbulence, les précipitations, etc. [6]. Ces facteurs contrôlent le transport, la distribution et les impacts de ces polluants sur la qualité de l'air ambiant.

2.3.1. Stabilité atmosphérique

Selon la classification des catégories de stabilité de l'atmosphère [7], la classe D (atmosphère neutre) est la plus fréquemment observée (63,2%), comme le montre également la figure 2. Les conditions de dispersion sont très favorables puisque 78% des observations présentent une 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.

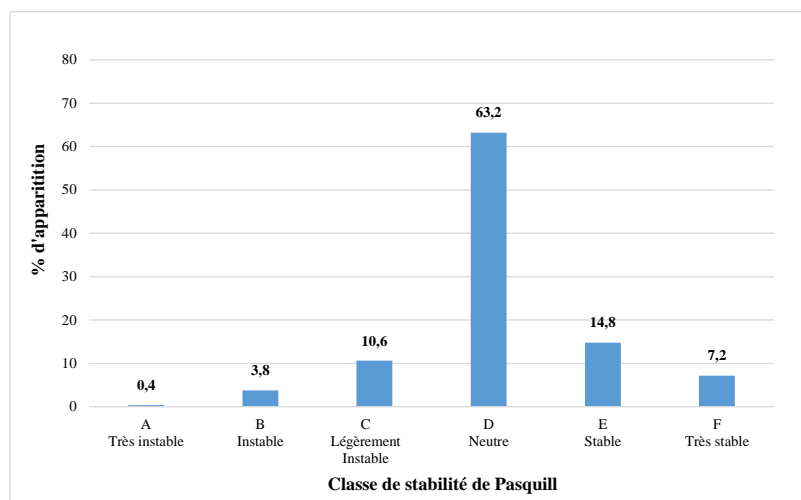


Figure 2. Répartition des observations météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique. (2017-2019).

2.3.2. Rose des vents

La [figure 3](#) présente la rose des vents généraux par classes vitesses confondues pour la station météorologique d'Arzew pour les années 2017, 2018 et 2019. La rose des vents montre pendant la période d'étude ce qui suit :

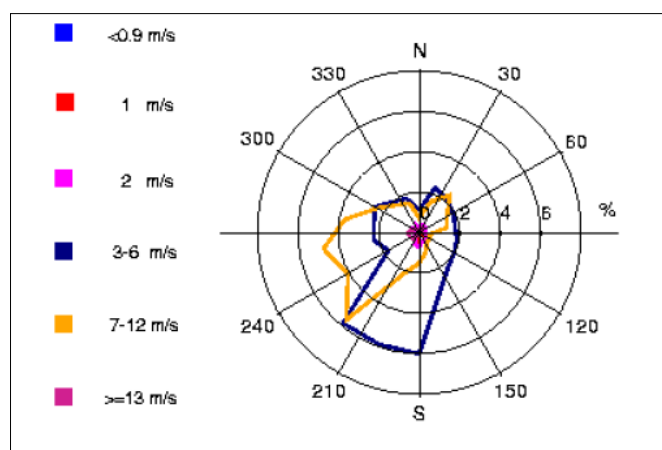


Figure 3. Rose des vents par classe de vitesse (2017-2019)

- Des vents de vitesse moyenne globale de 06 m/s.
- Des vents fréquents, de vitesse comprise entre 03 m/s et 06 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 7,1 m/s.

2.4. Inventaire des émissions

Dans le procédé de fabrication d'ammoniac par reforming du gaz naturel, les principaux gaz émis lors de la phase d'exploitation sont, en général les particules en suspension (PM_x), les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac (NH_3), les oxydes de soufre (SO_x), le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O) [8]. De nombreuses études ont montré que l'exposition aiguë et permanente aux émissions atmosphériques telles que les PM_{10} , les NO_x et le NH_3 est positivement et significativement associée à l'augmentation de la mortalité et de la morbidité [9]. Les espèces retenues dans cette étude pour modéliser de la dispersion des émissions atmosphérique sont les NO_x , PM_{10} et NH_3 . 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 1](#).

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

Source canalisée	Unités	Complexe industriel pétrochimique N°1	Complexe industriel pétrochimique N°2
Localisation du point d'émissions	X en m	35°48'29.20"N	35°47'55.16"N
	Y en m	0°20'25.96"O	0°11'4.17"O
Hauteur de cheminée	m	70	70
Diamètre cheminée	m	3.2	3.6
Débit volumique	(Nm ³ /h)	94 10 ⁴	105 10 ⁴

3. Résultats et discussion

Les résultats de la simulation sont donnés sous forme de cartographies, pour chaque espèce étudiée sur les périodes sélectionnées 2017, 2018 et 2019. Les [figures 4- 6](#) montrent la répartition de la dispersion de concentrations moyennes annuelles de NO_x , PM_{10} et NH_3 . Elle présente la situation majorant en termes d'impact, dans la mesure où les valeurs indiquées sont les concentrations au point géographique le plus exposé de l'aire d'étude (concentrations maximales rencontrées sur l'aire d'étude). Ces cartes correspondent aux résultats de la modélisation et représentent donc l'impact de la pollution d'origine industriel.

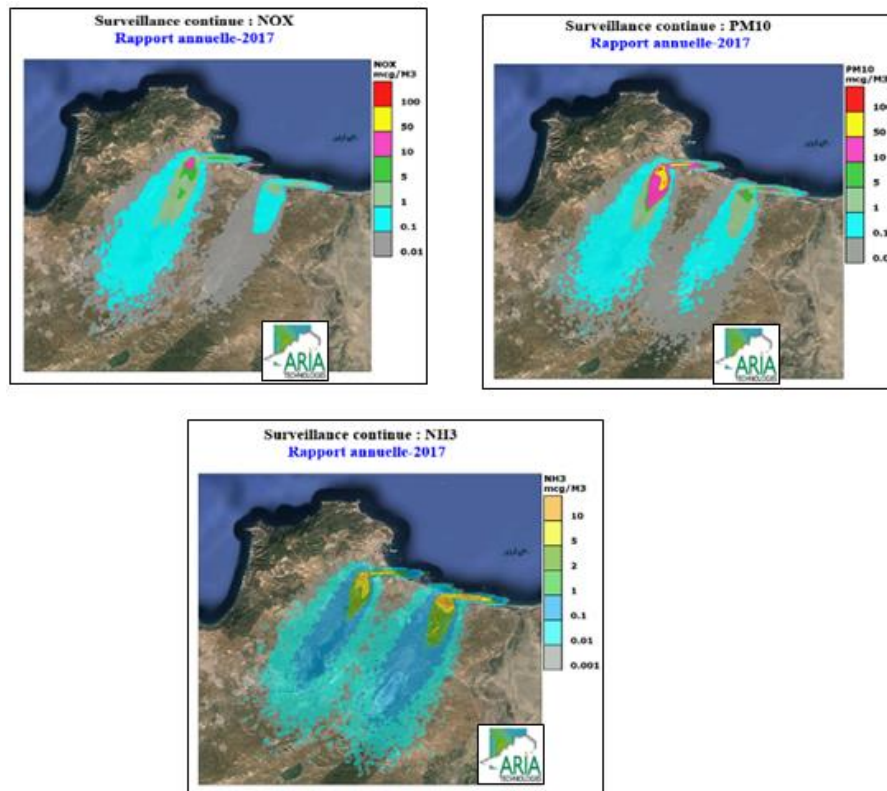


Figure 4. Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM_{10} , NO_x et NH_3 en 2017.

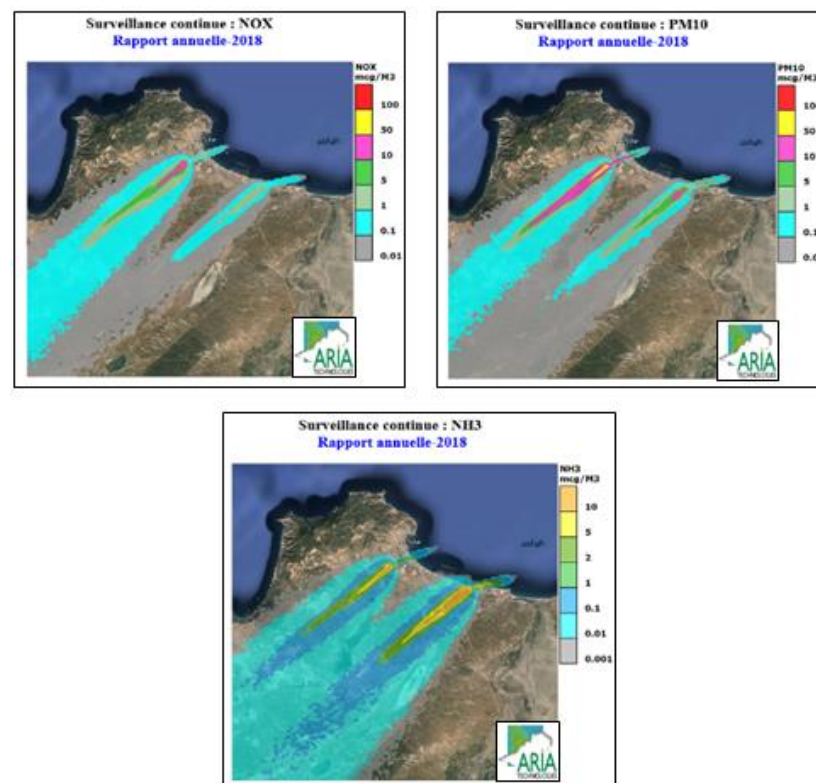


Figure 5. Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM_{10} , NO_x et NH_3 en 2018.

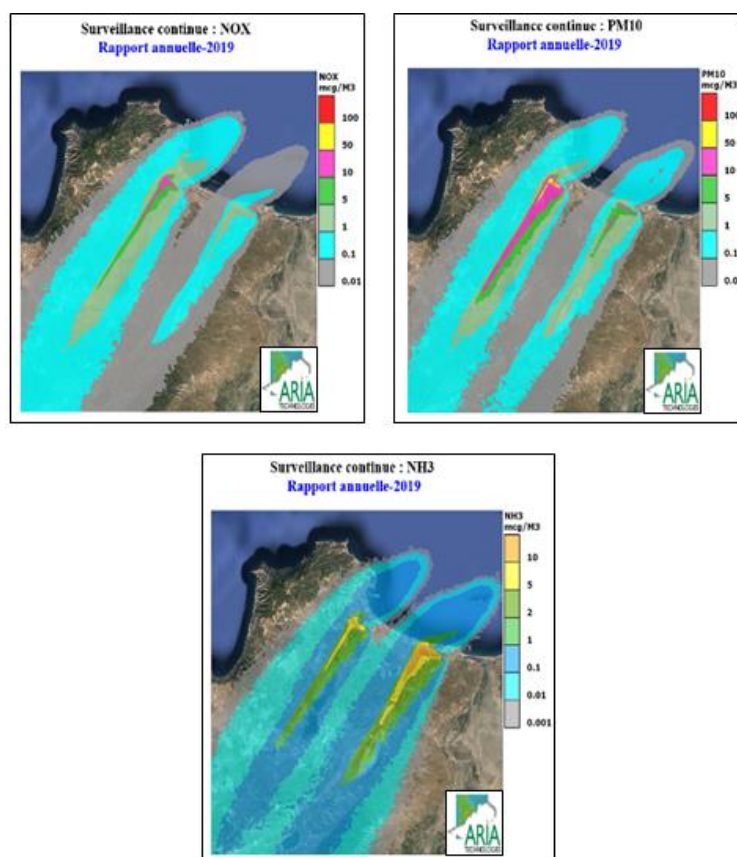


Figure 6. Cartographie de la qualité de l'air dans la région d'Arzew par modélisation de la dispersion des PM_{10} , NO_x et NH_3 en 2019.

Les tableaux 2 et 3 montrent le niveau de concentrations en NO_x , PM_{10} et NH_3 au niveau des complexes industriels N°1 et N°2, ainsi qu'au niveau de différents sites urbains (points cibles), comme le montre les figures 4- 6, et leur comparaison avec les lignes directrices de l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) pour les NO_x et les PM_{10} et la valeur recommandée par la EPA-US (Environmental Protection Agency-US) pour le NH_3 .

Tableau 2. Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°01.

Espèces	Année	Concentration à proximité du complexe industriel N°01	Concentrations au niveau des points cibles					Valeur seuil ($\mu g/m^3$)
			RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	
NO_x	2017	41	00	00.1	0.8	0.09	0.5	40 (NO_2) selon OMS
	2018	48	00	0.05	8	0.08	0.06	
	2019	39	0.08	0.07	4.9	4.7	0.8	
PM_{10}	2017	64	00	00	01	1.4	0.6	20

	2018	75	00	00.9	4.8	0.9	0.06	selon OMS
	2019	73	0.05	3.9	7.2	8.6	0.03	
NH₃	2017	53	00	0.08	0.07	0.2	0.4	100 selon EPA-US
	2018	45	00	0.07	0.6	0.8	0.09	
	2019	44	0.6	0.8	8.8	0.9	0.3	

Tableau 3. Concentrations moyennes annuelle des polluants au niveau des récepteurs liés à la dispersion des émissions du complexe industriel N°02.

Espèces	Années	Concentration à proximité du complexe industriel N°02	Concentrations au niveau des points cibles			Valeur seuil (µg/m ³)
			RC6	RC7	RC8	
NO_x	2017	4.9	0.02	0.06	1.2	40 (NO ₂) selon OMS
	2018	4.8	0.03	0.01	0.01	
	2019	4.7	0.06	0.1	1.1	
PM₁₀	2017	45	0.01	2.3	2.4	20 selon OMS
	2018	42	0.07	1.1	0.01	
	2019	43	0.05	0.9	2.9	
NH₃	2017	63	0.07	1.5	3.6	100 selon EPA-US
	2018	51	0.08	1.6	0.06	
	2019	69	0.8	1.3	2.1	

Durant les périodes de simulation, les concentrations de PM₁₀ enregistrées à proximité des complexes industriels sont bien supérieures au seuil annuel moyen de 20 µg/m³, notamment celles observées dans le complexe industriel N°1 en 2017, 2018 et 2019, dont les niveaux ont atteint 64 µg/m³, 75 µg/m³ et 73 µg/m³, respectivement. Ces concentrations excessives sont principalement dues à la proximité immédiate des sources d'émissions de PM₁₀ 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 µg/m³ en 2017, tandis que les valeurs enregistrées dans le site industriel N°1 sont relativement supérieures (42 µg/m³, 48 µg/m³ et 44 µg/m³) à la valeur

admissible de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En ce qui concerne les résultats de la simulation pour le NH_3 , il n'existe pas des directives de l'OMS précise quant au NH_3 émis dans l'atmosphère, mais au vu des exigences réglementaires conformément à la valeur recommandée par EPA-US fixée à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les indicateurs d'émissions de NH_3 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 points de récepteurs cibles, représentés par les 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 particulier les ponctuelles, 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 PM_{10} , 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 NH_3 .

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°1 et N°2. Les teneurs en NO_x dans l'air au niveau du complexe N°1 sont relativement supérieurs à la valeur limite préconisée par l'OMS, et restent dans les normes au niveau du site industriel N°2. Pour les niveaux de NH_3 , les concentrations émises dans l'atmosphère n'ont pas atteint la limite prescrite par EPA-US.

4. 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°1 et N°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, 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°1 et N°2 et relativement pollué par les NO_x dans le site industriel N°1.

Ces résultats confirment la nécessité des actions immédiates pour réduire les impacts négatifs des émissions, en particulier les PM₁₀, sur la santé des travailleurs et la qualité de l'air ambiant en milieu industriel.

Remerciements

Les auteurs remercient le Réseau de la surveillance la qualité de l'air de la Direction de la Santé et de l'Environnement de la Zone Industrielle d'Arzew pour l'accès à sa base de données. Les auteurs expriment également leur gratitude à l'Office national de la météorologie d'Arzew pour avoir fourni les données météorologiques utilisées dans cette étude.

Références

1. S. Naili, A. Morsli. Impact of industrial atmospheric emissions on ambient air quality in the region of Arzew (north-western Algeria), *International Journal of Environmental Studies*. 2020, 77, 1-13.
<https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1517956>.
2. B. Medjahed, S. Naili, M. Bouzit, Experimental study of the impact of pollutants on air quality in the urban city, *Journal of Materials and Environmental Science*. 2017, 8, 144-153.
3. M. Hingston. An assessment of marine vessel emissions and their contribution to air quality in Halifax Harbour for the Year 2002, *Environment Canada, Atlantic Region*. 2005, 65, 157-167.
<https://doi.org/10.5094/APR.2013.016>.
4. A. Seaton, W. MacNee, K. Donaldson, D. Godden, Particulate air pollution and acute health effects, *Lancet*. 1995, 345, 176-8.
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(95\)90173-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(95)90173-6).
5. H. Gourgue, A. Aharoune, A. Ihlal, Study of the air pollutants dispersion from several point sources using an improved Gaussian model, *Environnement, Risques & Santé*. 2015, 6, 1584-1591
6. N.L. Seaman, Meteorological modeling for air-quality assessments, *Atmospheric Environment*. 2000, 34, 2231-2259.
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00466-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00466-5)
7. F. Pasquill, F.B. Smith, Atmospheric diffusion (3rd Edition), *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1983, 110, 437.
<https://doi.org/10.1002/qj.49711046416>.

8. R.A. Houghton, Balancing the global carbon budget, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 35 (2007) 313-347.

<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140057>.

9. D. Krewski, R.T. Burnett, M. Goldberg, K. Hoover, J. Siemiatycki, M. Abrahamowicz, P.J. Villeneuve, W. White, Reanalysis of the Harvard six cities study, Part II: sensitivity analysis, *Inhalation Toxicology*. 17 (2005) 343-353.

<https://doi.org/10.1080/08958370590929439>

(2021) ; <http://revues.imist.ma/?journal=mjpas&page=index>