
IMPACTS DES VARIATIONS MENSUELLES, HEBDOMADAIRE ET HORAIRES DES PARTICULES ATMOSPHERIQUES (PM₁₀ ET PM_{2,5}) SUR L'AGGLOMERATION DE DAKAR – SENEGAL

Aminou Backo SALAO¹, Cheikh DIOP², LIVARDJANI Fariborz³, El Hadji Mamadou SONKO⁴, Aminata MBOW DIOKHANE⁵ et Tiburce CONDOMAT – AGALAMAKO⁶

¹*Université de Bangui, Faculté des Sciences / Laboratoire d'Etudes Environnementales des Milieux Urbains (LEEMUR) ; Institut des Sciences de l'Environnement (ISE); Faculté des Sciences et Technique (FST); Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal ; Email : aminoubackos@yahoo.com/ Tel : (00 236) 72 28 63 37 / 75 43 13 51*

²*Laboratoire d'Etudes Environnementales des Milieux Urbains (LEEMUR) ; Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) ; Faculté des Sciences et Technique (FST); Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal ; Email : namorydiop@ucad.sn / namorydiop@yahoo.fr / Tel : (+221) 77 501 42 61/ 82 42 30 02*

³*Centre Anti poison Jaurex Strasbourg / BP : 70214 67005 Strasbourg Cedex / Email : f.livardjani@caj-formation.fr/ f.livardjani@caj-sante-environnement.fr / fariborl@yahoo.fr / Tel : (00 33) 06 77 65 00 96 / 7 83 56 76 27*

⁴*Directeur de l'Institut des Sciences et Techniques (ISE) ; Laboratoire d'Etudes Environnementales des Milieux Urbains (LEEMUR) ; Faculté des Sciences et Technique (FST) ; Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal. BP 5005 Dakar-Fann ; EAWAG: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Eawag Überlandstrasse 133 P.O.Box 611, 8600 Dübendorf, Switzerland*

⁵*Centre de Gestion de la Qualité de l'Air (CGQA) de Dakar, Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC), 106, Rue Carnot-Dakar, Sénégal ; Tel : (00 221) 77 571 82 17 / 33 821 33 27 ; Email : amimbow@gmail.com*

⁶*Université de Bangui, Faculté des Sciences ; Tel : (+ 236) 76 24 59 24 ; tiburce.condomat@gmail.com*

Résumé

La présente étude a pour objectif d'évaluer le niveau de variations temporelles de concentrations des particules atmosphériques (PM₁₀ et PM_{2,5}) dans la ville de Dakar. Cinq sites du Centre de Gestion de la Qualité de l'Air (CGQA) répartis à travers la ville ont fait l'objet de mesures, à différentes périodes de l'année, moyennant des stations de mesures fixes munies des analyseurs automatiques permettant de mesurer la concentration des particules atmosphériques 24h/24. Cette évaluation est basée sur la représentativité de la période des années : 2015 à 2019. En 2015, pour les PM_{2,5}, nous avons enregistré 108 dépassements au niveau de la station industrielle de Bel Air et 72 au niveau de la station de trafic routier

de Boulevard de la République. Les concentrations moyennes annuelles calculées évoluent entre 27,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (station de trafic) et 43,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (station industrielle). Les concentrations maximales varient de 210,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (station de trafic) à 275,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (station industrielle). En 2019, pour les PM_{10} , à plusieurs reprises, des épisodes de fortes pollutions aux particules sont produits dans la ville. Les concentrations mesurées ont fréquemment dépassé 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière sur les sites. La valeur limite fixée par la norme NS-05-062 (260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a connu 30 jours de dépassements. La moyenne journalière est de 135,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et le maximum est de 601 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'évolution de ces concentrations, s'explique, par la présence dans l'air ambiant des polluants particulaires d'origine anthropiques, mais aussi des émissions provenant des sources naturelles au niveau de la ville.

Mots-clés : *Variation, Impact, Particules atmosphériques, Dakar, CGQA.*

IMPACTS OF MONTHLY, WEEKLY AND HOURLY VARIATIONS OF ATMOSPHERIC PARTICLES (PM_{10} AND $\text{PM}_{2.5}$) ON THE DAKAR – SENEGAL AGGLOMERATION

Abstract

The objective of this study is to assess the level of temporal variations in the concentrations of atmospheric particles (PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$) in the city of Dakar. Five sites of the Air Quality Management Center (CGQA) distributed throughout the city were measured at different times of the year, using fixed measuring stations equipped with automatic analyzers to measure the concentration of atmospheric particles 24 hours a day. This assessment is based on the representativeness of the period of years: 2015 to 2019. In 2015, for $\text{PM}_{2.5}$, we recorded 108 exceedances at the Bel Air industrial station and 72 at the Boulevard de la République road traffic station. The calculated annual average concentrations vary between 27.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (traffic station) and 43.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (industrial station). Maximum concentrations range from 210.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (traffic station) to 275.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (industrial station). In 2019, for PM_{10} , on several occasions, episodes of high particle pollution were produced in the city. The measured concentrations frequently exceeded 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ as a daily average on the sites. The limit value set by Standard NS-05-062 (260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was exceeded 30 days. The daily average is 135.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the maximum is 601 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The evolution of these concentrations is explained by the presence in the ambient air of particulate pollutants of anthropogenic origin, but also emissions from natural sources at the city level.

Keywords : *Variation, Impact, Particula Mater, Dakar, CGQA.*

Introduction

Ces dernières décennies, la qualité de l'air a pris une place importante comme problème social, marquée par une série d'épisodes majeurs de pollutions. Plusieurs études ont mis en évidence l'exposition à la pollution atmosphérique aux différents types des maladies allant de mortalité à la morbidité (N. Awa, 2019, p.9). Dans des nombreuses régions du monde, cette exposition augmente à une vitesse alarmante à telle point qu'elle est devenue la principale menace environnementale pour la société (T. Xue, 2022, p.6). En 2019, 90 % de la population mondiale vivait dans des endroits où les niveaux recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en matière de qualité de l'air n'étaient pas respectés (OMS, 2021, p.8). D'après un rapport sur l'état de l'environnement, près de 40 % des villes équipées d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air ont fait état en 2022 d'indices de pollution égaux ou supérieurs au niveau maximal, la catégorie 3, dont les valeurs seuils se trouvent être pourtant cinq fois plus élevées que celles préconisées par l'OMS (T. Botchway, 2023, p.30). Selon l'OMS, plus de 7 à 8 millions de personnes ont perdu la vie en 2021 à la suite des pathologies provoquées par la pollution de l'air extérieur et intérieur. Cette mortalité est due, pour la plupart des cas, à l'exposition aux particules atmosphériques (*Particulate Matter* de diamètre aérodynamique inférieure ou égale à 10 et 2,5 μm) (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) (WHO, 2023, p.10). Au Sénégal, plus particulièrement à Dakar, dans un revu parue au mois de novembre 2024, S. Diouf et al, ont cité la ville de Dakar parmi les villes les plus polluées du monde avec des teneurs en particules atmosphériques dépassant quatre à sept fois les valeurs limites définies par l'OMS (S. Diouf, 2024, p.10). La confrontation des résultats épidémiologiques associés aux éléments d'appréciation de causalité habituellement retenus comme cause respiratoire et cardio-vasculaire permet raisonnablement de conclure que la pollution atmosphérique constitue bel et bien un facteur de risque pour les citoyens dakarois (N. Awa, 2019, p. 33). Aujourd'hui, pour répondre aux détériorations de l'environnement par ce phénomène qu'est « la pollution de l'air », et son impact sur la santé, nombreuses sont ces questions qui nous amènent à être posées : Quelles sont les différentes situations dans les pays en voie de développement et les pays développés ? Qu'en est-il de l'impact de la pollution particulaire en zone intra-urbaine ? C'est donc l'impact sur la santé et l'environnement qui justifie les recherches entreprises ces dernières années afin d'évaluer le plus exactement possible l'importance de la pollution aux particules sur la population et sur l'environnement. La présente étude rentre dans ce contexte, il permet d'évaluer le niveau des concentrations mensuelles, hebdomadaires et horaires des particules atmosphériques (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) dans les agglomérations de Dakar.

1. Matériels et méthode

1.1. Description de la zone d'étude

La présente étude est réalisée dans la ville de Dakar, capitale du Sénégal. La région de Dakar est située dans la presqu'île du Cap Vert et s'étend sur une superficie de 535 km², soit 0,3 % du territoire national. Elle est comprise entre les longitudes 17°10 et 17°32 Ouest et les latitudes 14° 53 et 14° 35 Nord. Elle est limitée à l'Est par la région de Thiès et par l'Océan Atlantique dans ses parties Nord, Ouest et Sud (Figure 1) (ANSD, 2024, p.20).

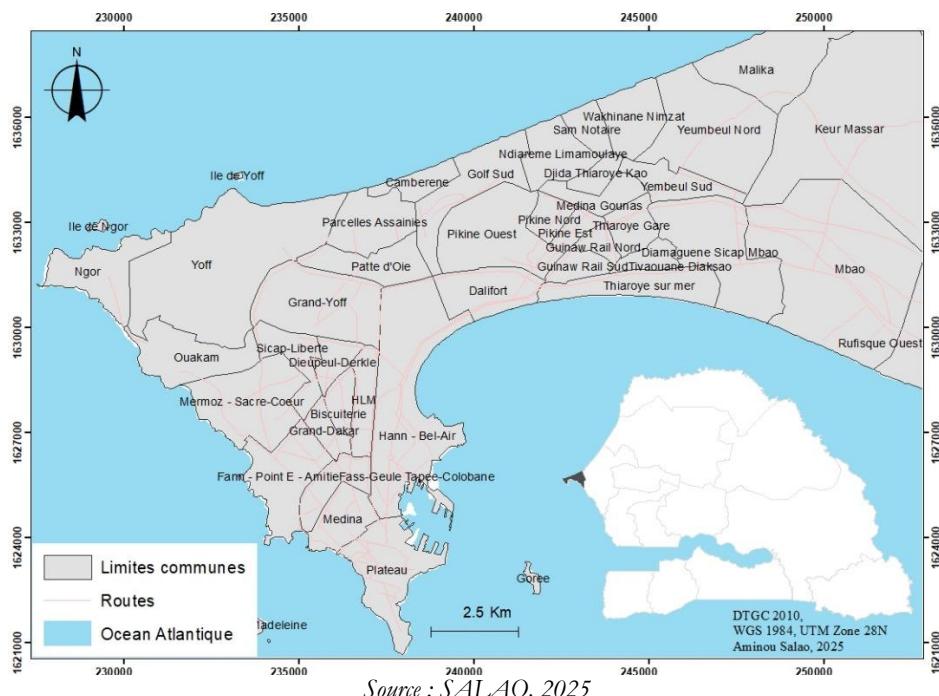


Figure 1 : Carte de la région de Dakar et ses départements

Dans une zone tropicale subdésertique, Dakar bénéficie d'un microclimat de type côtière influencé par les alizés maritimes et la mousson. Le régime des vents est marqué par l'influence prédominante de l'alizé. Ce dernier est issu de l'anticyclone des Açores. Sa direction principale varie du Nord-Nord-Ouest à Nord-Nord-Est, généralement propice à la bonne dispersion et au lessivage des polluants atmosphérique (T. Moussa, 2023, p.18). La pluviométrie est caractérisée par une durée relativement courte de l'hivernage (saison des pluies), variant entre trois (3) et quatre (4) mois de juillet à septembre avec des températures avoisinant 27 °C et un pic de précipitations en Août (250 mm). Pendant la saison sèche qui commence en Octobre et dure jusqu'en Juin, le temps est un peu plus frais avec une température qui varie entre 27° et 30°. Pendant cette période, il ne pleut pratiquement pas (T. Moussa, 2023, p.12).

1.2. Méthodologie de campagne et mesures d'observations

1.2.1. Indicateur d'exposition et la Période des campagnes

Les indicateurs d'expositions retenus ont été les teneurs globales en PM_{10} et $PM_{2,5}$.

Les campagnes continues ont été respectivement réalisées du Janvier à Décembre 2015 pour les $PM_{2,5}$ et du Janvier à Décembre 2019 pour les PM_{10}

1.2.2. Mesures de pollutions

Tout au long de la période de l'étude, nous avons effectué des campagnes continues de mesures intensives pour prélever les données des concentrations massiques des particules en suspension (PM_{10} et $PM_{2,5}$) au niveau des sites de surveillance de la qualité de l'air, du Centre de Gestion de la Qualité de l'Air (CGQA) (Photo I), repartie à travers la ville de Dakar (Figure 2).

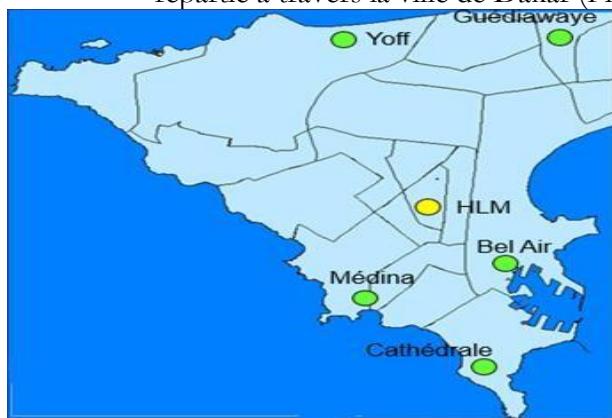


Figure 2 : Localisation des stations des mesures de la qualité de l'air de Dakar (CGQA)

Ces stations de mesures fixes sont équipées par des analyseurs automatiques (Photo II) mesurant les concentrations des polluants particulaires 24h/24h, selon un pas de temps réglable de 6, 8, 12 ou 24 heures.



Photo I: Vue de l'extérieur d'une station de mesure de la qualité de l'air des Hlm (CGQA)



Photo II : Différents types des analyseurs automatiques de mesures utilisés par le CGQA de Dakar

Par ailleurs, la surveillance réglementaire utilisée pour évaluer le niveau de ces particules, se fait selon la Norme Sénégalaise (NS-05-62) et la Directive de l'OMS (**Tableau I**).

Tableau I: Valeur réglementaire des particules atmosphériques (PM₁₀ et PM_{2,5}) du Sénégal et de l'OMS (ASN,2003, p.14)

Polluants	Moyenne temporelle	Valeur réglementaire (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Directives OMS	NS-05-62 (Sénégal)
Particules < 10 μm (PM ₁₀)	Journalière	50	260
	Annuelle	20	80
Particules < 2,5 μm (PM _{2,5})	Journalière	25	
	Annuelle	10	

En effet, sur chaque site, les particules ont été collectées sur filtres selon 2 classes de tailles (PM_{2,5} et PM₁₀) à l'aide de préleveur moyen débit (10 m^3/h). Une fois déposées sur un filtre, les particules prélevées dans l'air ambiant, augmentent la masse du système oscillant, provoquant ainsi un ralentissement de la fréquence d'oscillation.

Cette variation de fréquence est convertie en variation de masse de poussières déposées. La mesure du débit volumique permet de déterminer la concentration en microgrammes de particules par mètre cube d'air. Par ailleurs, la masse des échantillons de particules collectées est déterminée au moyen de la technique de

mesure d'atténuation des rayonnements bêta (Tableau II).

Tableau II : Paramètre méthodologique de mesures des polluants

Paramètre	Méthode de mesure utilisée	Référence aux procédures normalisées	Technique
Particule en Suspension PM ₁₀	Jauge radiométrique atténuation bêta	CEN/EN12341	Analyseur automatique
Particule en suspension PM _{2,5}	Jauge radiométrique atténuation bêta	CEN/EN12341	Analyseur automatique

Toutes les mesures prélevées sont transmises par connexion ADSL au serveur du Labo Central situé dans les locaux du CGQA (figure 3).

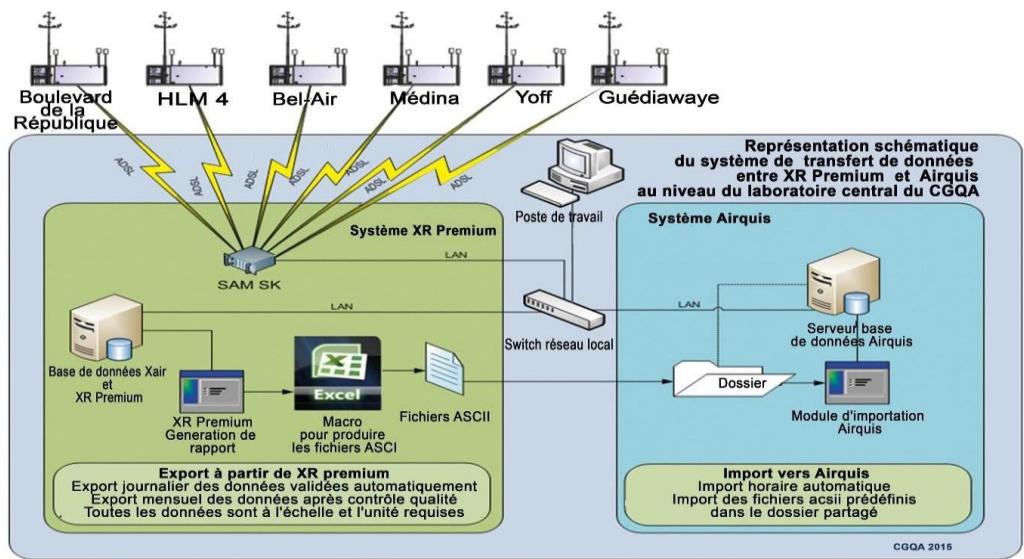


Figure 3 : Illustration méthodologique du système de transfert de données par AirQUIS

Cette station d'acquisition située au niveau du CGQA permet de :

- gérer l'acquisition des données en provenance des analyseurs ;
- piloter les instruments et s'assurer de leur bon fonctionnement ;
- qualifier chaque mesure produite par un code qualité ;
- détecter et consigner l'ensemble des événements apparus ;
- surveiller les niveaux mesurés ;
- signaler tout dépassement de seuil ; et
- stocker et sauvegarder dans une base de données.

2. Résultats et discussion

2.1. Conditions météorologiques de l'agglomération dakaroise

Les figures 4 et 56 représentent les directions et les vitesses de vent issues de la station des Hlm durant la campagne de mesure. D'un point de vue météorologique global, la pluviométrie a été faible et les vents modérés. Le passage du soleil au zénith, deux fois par an, détermine deux saisons (S. Pascal, 1990, p. 11) : une saison des pluies de juillet à septembre, c'est l'hivernage et une saison sèche, plus fraîche, d'octobre à juin. La vitesse moyenne des vents est de 3 mètres par seconde. L'humidité minimale est observée entre février et avril alors que les maximales sont observées entre juin et octobre.

En 2015, les vents dominants (vitesse du vent > 4 m/s) arrivent principalement par le secteur Nord-Ouest (Figure 4). Cette dispersion des polluants est plutôt favorisée lorsque les masses d'air atteignent la région dakaroise (perturbations atlantiques) par le secteur Nord-Ouest (la vitesse du vent maximale annuelle en 2015 est de 30 km/h, et a été enregistrée dans ce secteur le 03/02/2015 de 14h à 15h).

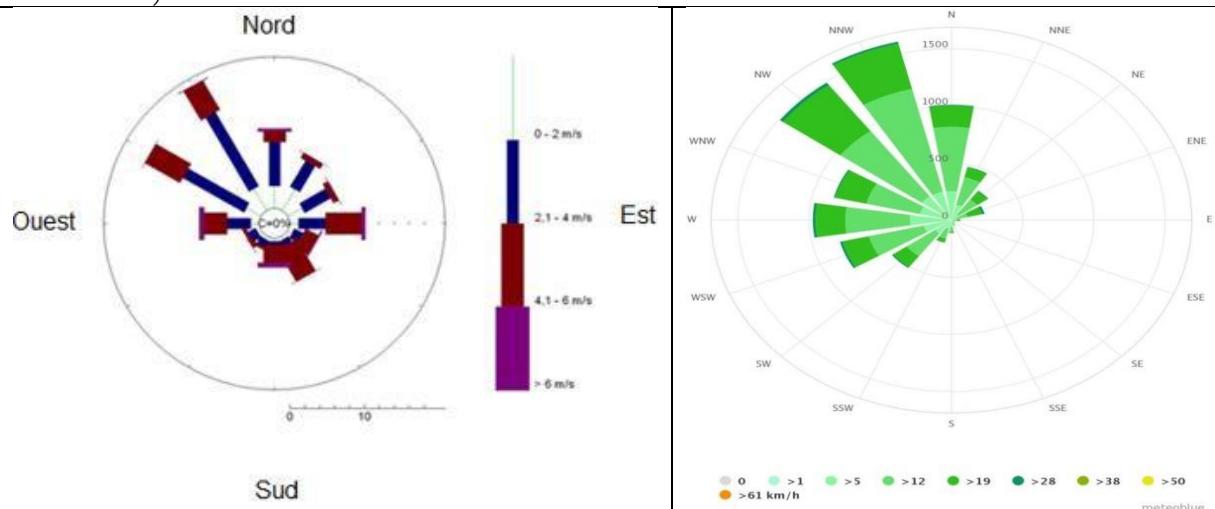


Figure 5: Rose des vents de l'année 2019 (https://www.meteoblue.com)

Par contre en 2019, la direction du vent est assez forte, mais souvent peu significative. On observe plusieurs périodes de vent Nord-Ouest et Nord - Nord-Ouest (Figure 5). Toutefois, les vitesses de vent restent moyennes la majeure partie de la campagne sur plusieurs mois, notamment, entre 22 à 29km/h. Cependant, la moyenne est de 25km/h et le maximum est de 29km/h.

2.2. Bilan de concentrations des émissions des particules fines (PM_{2,5})

2.2.1. Evaluation des concentrations moyennes mensuelles des PM_{2,5} au regard des valeurs guides de l'OMS

Dans le cadre de notre étude, nous avons mesurées les particules fines (PM_{2,5}) que sur les deux stations fixes que sont : le site en proximité de trafic automobile

(Boulevard de la République) situé en plein Centre-ville de Dakar et un site en zone industrielle (Bel Air). Toutefois, en période de campagne de mesures, des problèmes techniques liés aux appareils ont été constatés sur les stations entre Septembre et Décembre 2015 (saison humide) entraînant quelques lacunes sur des données enregistrées. L'évaluation de ces mesures ont, tout de même, servi à mieux appréhender les effets sanitaires et locaux de ces polluants PM_{2,5}. Aussi, contrairement aux PM₁₀, les PM_{2,5} ne font pas l'objet d'une valeur réglementaire aux Sénégal. Pour cette raison, nous avons choisi de faire recours aux valeurs guides définies par l'OMS qui sont de 10 µg/m³ moyenne annuelle, et 25 µg/m³ moyenne sur 24 heures à ne pas dépasser plus les 3 jours (WHO, 2023, p32). L'observation de la Figure 6 des concentrations moyennes mensuelles montre de forts pics de pollutions dépassant les seuils des valeurs guides de l'OMS (25 µg/m³) au premier trimestre (janvier – mars) sur la période de l'étude. S'en suit une nette diminution moyenne de ces concentrations au cours du trimestre suivant, qui deviennent de plus en plus faibles au dernier trimestre de l'année, se situant ainsi en dessous des valeurs des seuils d'informations et de recommandations de l'OMS.

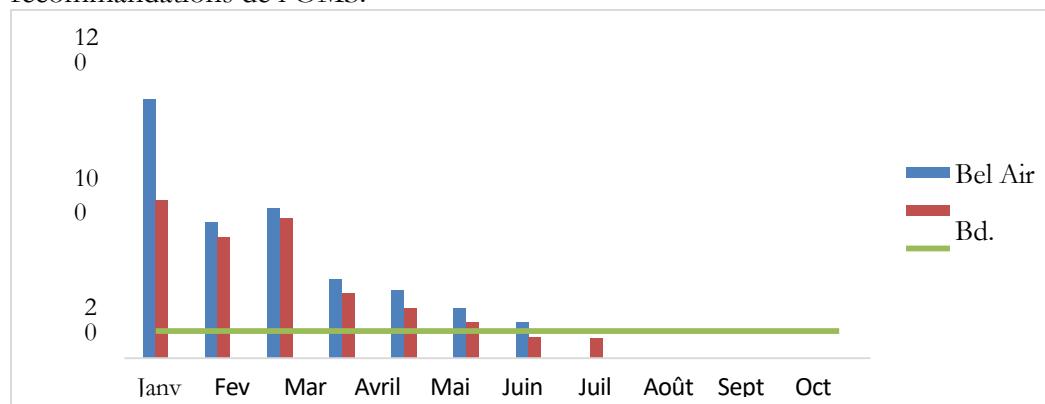


Figure 6: Evolution des concentrations moyennes mensuelles des PM_{2,5} en 2015

Par ailleurs, sur l'ensemble des sites les valeurs réglementaires de protection de la santé sont dépassées, que ce soit sur la moyenne annuelle (inférieure à 10 µg/m³) que sur le nombre de jours ne devant pas dépasser la moyenne journalière de 25 µg/m³ (Tableau III).

Tableau III: Bilan des mesures sur les sites de Bel air et Boulevard de la République (2015)

Stations de mesures	Typologie	Concentration Moyenne annuelle	Concentration Maximum annuelle	Nombre de jours de dépassements
Bel Air	Industrielle	43,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	275,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	108 jours
Boulevard de la République	Trafic	27,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	210,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	72 jours

2.2.2. Variations de concentrations moyennes des PM_{2,5} entre 2016 et 2019 sur l'ensemble de la ville de Dakar

Le graphique ci-après montre l'évolution de concentrations moyennes annuelles des particules fines (PM_{2,5}) entre 2016 et 2019. Il permet de comparer les niveaux de concentration des particules PM_{2,5} moyennés, en fonction des différents environnements : mesure à proximité industriel et en milieu urbain (Figure 7).

Les variations moyennes mensuelles et annuelles apparaissent relativement bien corrélées à l'échelle de la ville, avec notamment des fortes concentrations enregistrées sur certaines périodes de l'année à l'exemple du premier trimestre et tous les mois de Décembre des chaque année. Le niveau de pollution a atteint un pic variant de 15 à 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site, et ce, sur toute la période de 2016 – 2019.

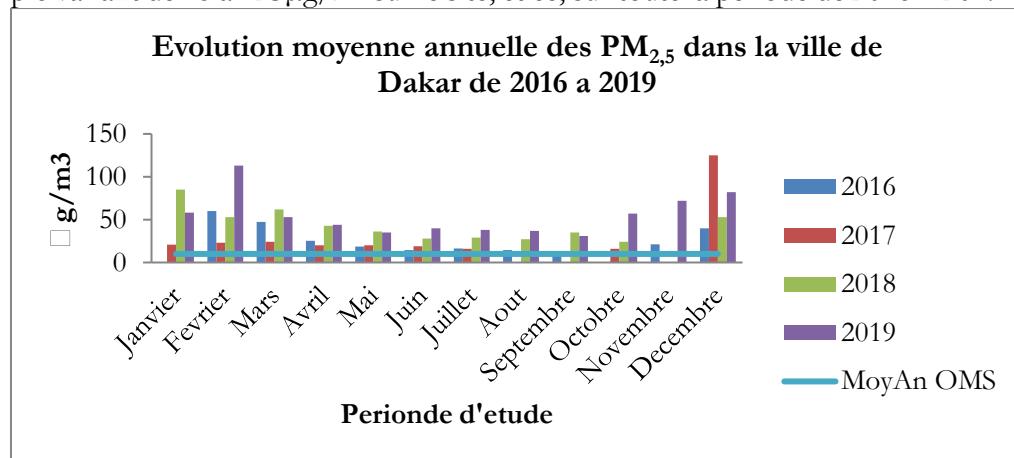


Figure 7 : Variation de concentration des particules fines (PM_{2,5}) dans la ville de Dakar entre 2016 et 2019.

Cette forte concentration, illustre ainsi, non seulement l'impact considérable des émissions de particules dues aux installations industrielles mais aussi par le rejet des émissions dues aux activités anthropique en milieu urbains. Les concentrations les plus faibles, qui toutefois dépassent la valeur guide de l'OMS fixée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont observées entre les mois d'avril à octobre. Durant cette période de l'année, les conditions climatiques plus propices au lessivage de ces

polluants particulaires ($PM_{2,5}$), ont entraîné une baisse significative des moyennes annuelles sur l'ensemble de la ville.

2.2.4. Profil hebdomadaire et diurne des $PM_{2,5}$

Le profil hebdomadaire de l'évolution des $PM_{2,5}$ (Figure 8) montre une nette diminution des concentrations le week-end (Samedis et Dimanches). Cette baisse de concentrations en $PM_{2,5}$ est beaucoup plus marquée sur le site de Trafic (Boulevard de la République) que sur le site Industriel (Bel Air). La source principale de $PM_{2,5}$ affectant ce site est donc active uniquement pendant les jours ouvrés. Les concentrations observées durant les jours ouvrés sont en moyenne plus de 30% supérieures à celles enregistrées en fin de semaine.

L'étude de corrélation entre les données de vent fournies par la station des Hlm (Rose des vents) sur cette période indique la provenance de brises (vent) souvent de direction Nord - Ouest. Ceci permet d'identifier les industries comme étant la source principale d'émission des particules fines. Le positionnement du site industriel (Bel Air), situé dans la zone du port et à 300 mètres de la zone franche industrielle (ZFI) rend cette station potentiellement exposée aux émissions.

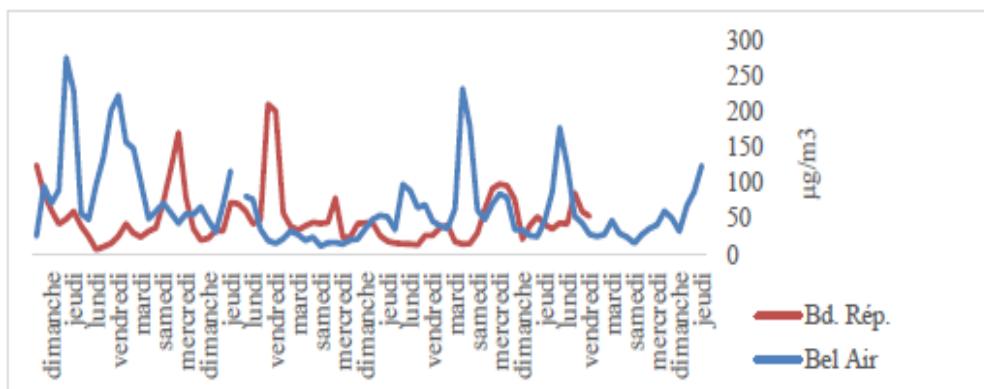


Figure 8: Profil hebdomadaire des concentrations des $PM_{2,5}$ en 2015

2.2.5. Profils horaires ou diurnes $PM_{2,5}$ en 2015

La Figure 9 représente le profil journalier (moyennes horaires annuelles) des $PM_{2,5}$ relevés sur les deux stations (Bel Air et Boulevard de la République) de l'agglomération dakaroise pour l'année 2015. Ce profil journalier montre que les maximums des valeurs sont enregistrés entre 8h et 16h. Ceci coïncide aux heures d'activités et aux heures d'importantes circulations automobiles sur les grands axes de la ville.

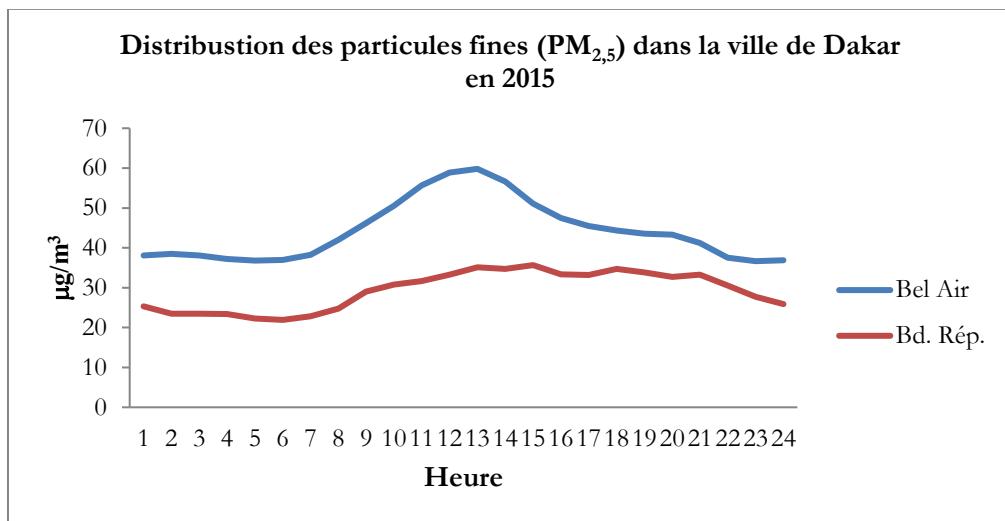


Figure 9: Profil horaire des PM_{2,5} de la station de Bel Air et Boulevard de la République (2015)

Sur cette figure, la différence entre les deux sites est nettement marquée. Les taux de PM_{2,5} sur le site du Boulevard de la République (Trafic) sont plus faibles que ceux relevés sur le site de Bel Air (Industriel). Le profil général est proche de celui observé sur la figure traitant des variations mensuelles. Cela conforte l'hypothèse de la proximité de la zone industrielle sur ce site, et indique que les concentrations en PM_{2,5} sur ces sites sont largement gouvernées par les émissions industrielles.

2.3. Bilan des émissions des particules grossières (PM₁₀) au regard des normes NS-05-62 (Sénégal) et de l'OMS.

2.3.1 Evaluation des concentrations moyennes mensuelles et journalières des PM₁₀

Concernant les PM₁₀, à l'exception de la période d'avril à septembre 2019, du fait notamment de son climat et d'une baisse des émissions de poussière dans l'atmosphère, la ville connaît des dépassements fréquents des principaux seuils réglementaires fixés pour ce polluant pendant toute la période d'étude (Figure 10). Globalement, plusieurs épisodes ont été observés : les niveaux élevés des concentrations au premier (janvier – mars) et le dernier trimestre (octobre – décembre), s'ensuivent une baisse de ces concentrations aux trimestres au milieu de l'année (avril – septembre).

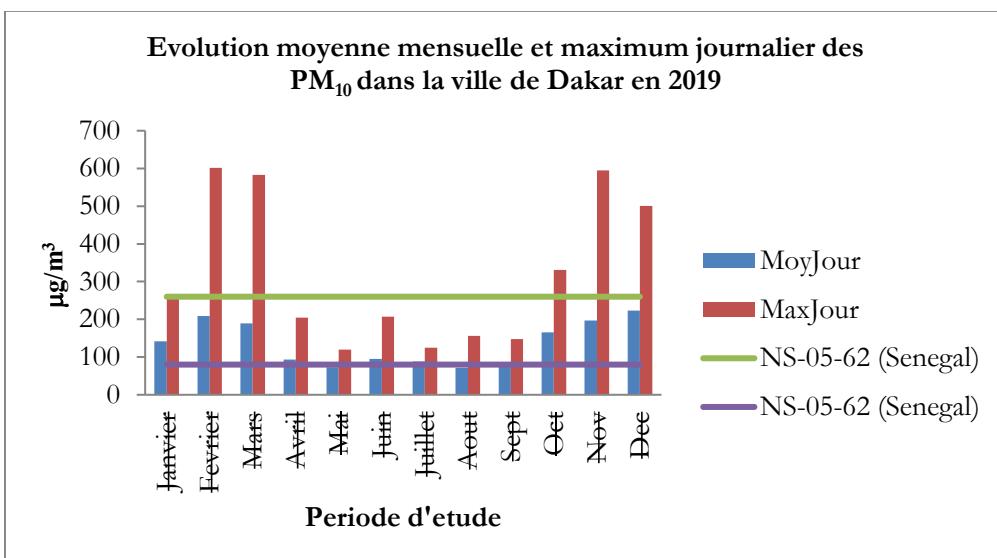


Figure 10 : Variation de concentration des particules grossières (PM₁₀) dans la ville de Dakar en 2019

Les concentrations mesurées ont fréquemment dépassé 100 µg/m³ en moyenne journalière sur tous les sites. La valeur limite journalière fixée par la Norme NS-05-062 (260 µg/m³) a connu 30 jours de dépassements sur les sites pendant la période d'étude. La moyenne journalière est de 135,59 µg/m³ et le maximum est de 601 µg/m³. Par ailleurs, sur toute la période allant d'avril à septembre, la ville a connu de très faibles concentrations de PM₁₀ respectant ainsi les normes NS-05-062.

2.3.2. Profil hebdomadaire des PM₁₀ en 2019

La figure 11 ci-dessous montre l'évolution des concentrations moyennes horaires de particules aérodynamique inférieure à 260 ug/m³ (PM₁₀) pour les cinq stations situées dans la région de Dakar lors de la campagne de mesures. Au regard des résultats obtenus, la concentration moyenne ainsi que la valeur journalière maximale sont inférieures à la limite définie par la norme sénégalaise (NS-05-062) fixée à 260 µg/m³. Toutefois, le niveau de ces concentrations demeure élevé par rapport à la Directive de l'OMS (Figure 11).

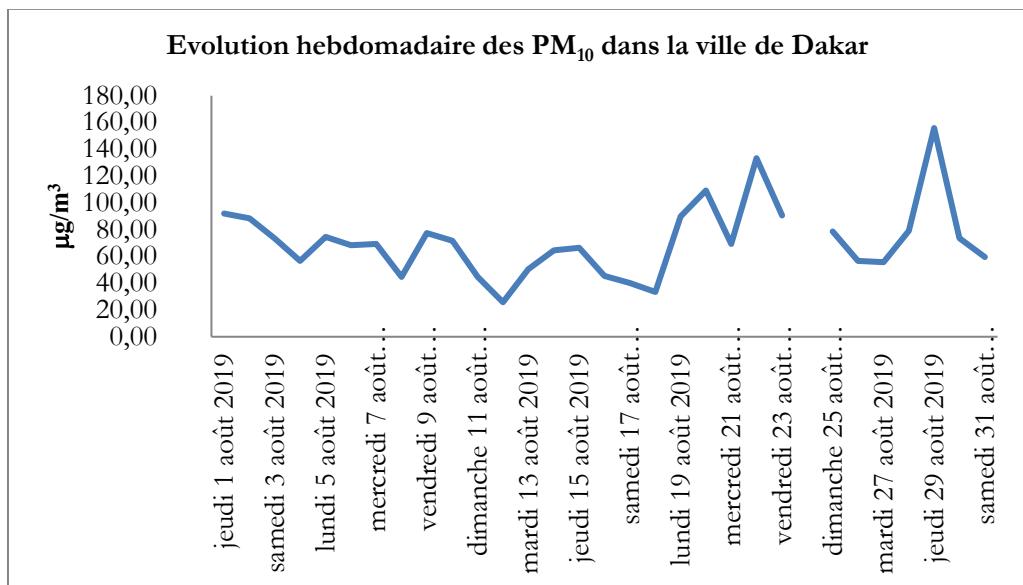


Figure 11 : Variation hebdomadaire des particules grossières (PM₁₀) dans la ville de Dakar en 2019

Par ailleurs, nous avons remarqué, contrairement aux weekends, les jours ouvrables ont été les plus affectés par les pics de pollutions aux particules grossières (PM₁₀). Ce niveau élevé de concentration aux particules durant cette période est due aux rejets des émissions par les sources anthropique (trafic routier, ménagères) associés aux phénomènes météorologiques favorable à la stagnation de ces émissions dans l'air ambiant.

2.3.3. Profil horaire ou diurne PM₁₀ en 2019

Les niveaux diurnes ou horaires de concentration des PM₁₀ enregistrés sur les stations fixes de la ville de Dakar, durant la période de campagne, étaient semblables à celles des concentrations journalières (Figure 12).

Les concentrations des PM₁₀ relevées en milieux urbain et périurbain ont considérablement diminué entre 20h et 08h du matin et atteignent régulièrement des concentrations moyennes très faibles. Cependant, aux heures d'activités, de 08h à 20h, on peut constater une forte concentration de ces polluants dans l'air ambiant. Cette évolution s'explique, par le rejet dans l'air ambiant des polluants particulaires par des véhicules à moteurs, les activités ménagères, mais aussi, par les fumées des grandes installations de combustion, les fumées des usines d'incinération d'ordures ménagères, l'émergence des énergies utilisant de fuel, des anciennes centrales thermiques, etc, au niveau de la ville.

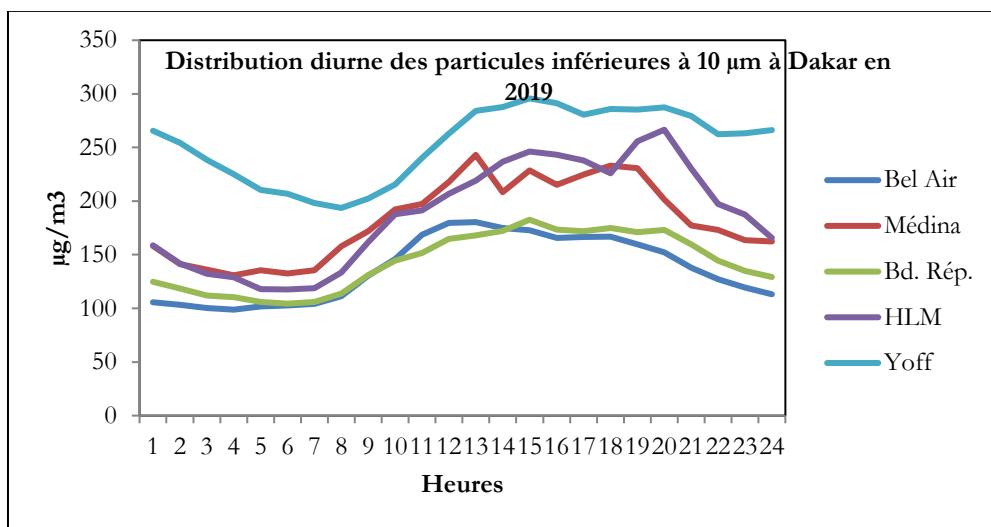


Figure 12 : Variation de concentration des particules grossières (PM₁₀) dans la ville de Dakar

2.4. Indice de la Qualité de l'Air (IQA) de la période d'étude

L'amplitude de variation est plus importante à Dakar, où l'indice de la qualité de l'air varie de très bon à très mauvais. Les polluants majoritairement responsables de ces indices sont les particules en suspension. Pour ces polluants, l'IQA à Dakar est généralement moins bon car celui-ci est jugé Très mauvais à 37% et Mauvais à 28% (Tableau 4).

Tableau IV: Indice de la Qualité de l'Air (IQA) de la période d'étude

Valeur de l'IQA	Niveau du risque d'exposition	Stations des mesures fixes					Pourcentage Du niveau d'exposition
		Bel Air	Bd. Rép.	Hlm	Médina	Yoff	
0 – 50	Bon	166	169	90	112	63	11%
51 – 100	Moyen	32	47	93	73	40	25%
101 – 200	Mauvais	12	13	21	21	45	28%
> 200	Très mauvais	3	3	2	3	10	37%

3.. Discussion

Nos résultats montrent que, tous les sites de mesures présentent de fortes concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5}. Les concentrations moyennes annuelles en PM_{2,5} sont respectivement de 27,34 µg/m³ sur le site du trafic (Boulevard de la République), et 45,42 µg/m³ sur le site industriel (Bel Air). Le secteur industriel présente donc, des concentrations aux particules fines plus élevées que le secteur urbain-traffic. Plus le vent est fort, plus la zone est favorable à la remise en suspension de la poussière du sol et de la route. A faible vitesse du vent, les particules fines pourraient rester plus facilement en suspension dans l'air (Z. Ren,

2021, p 13). Pour Linda *et al*, (2022), les faibles concentrations en particules ultrafines observées avec des vents de l'ordre de 5 à 10 m/s sont liées à un taux de coagulation plus élevé, à un meilleur mélange des masses d'air et à des pertes plus importantes de particules dues aux dépôts sec et humide (J. Linda, 2022, p. 17). Par ailleurs, les usines situées dans la zone franche industrielle (500 m) sont des sources potentielles de particules fines, associées au transport et au stockage des minéraux. De plus, les activités métallurgiques font appel à des processus mécaniques pour ces matières premières (excavation, broyage, frittage et criblage) qui sont également à l'origine d'émissions de particules (N. Christian, 2017, p.37). Ces niveaux de concentrations sont supérieurs à ceux relevés dans la littérature en milieu urbain. Dans une étude menée par Jean-Marc *et al*, (2019), dans l'agglomération de valence entre 2016 – 2018, les auteurs ont enregistré une concentration moyenne de 19,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (A. Lucie, 2019, p.32) et dans l'agglomération parisienne sur la période de 2013 – 2014, la concentration moyenne observée est de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. C'est le cas également des travaux conduit par Bhugwant, *et al*, (2015) qui reportent respectivement des concentrations en PM_{2,5} sur la commune de Sainte-Suzane en Ile de la Réunion, enregistrées sur les trois stations de mesures fixes en 2014 dans différentes zones de la ville : à BER (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), à BAU (3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et MAY (3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en 2014 (O. Bhugwant, 2015, p.17).

Les différences observées entre nos valeurs et celles de la littérature ont pour principale cause la gamme des concentrations liées au passage de brumes de sable en provenance du Sahara sur la région dakaroise. Elle se combine à l'activité humaine : combustion d'énergie fossile, moyens de transports, activités industrielles. En milieu urbain, les processus de combustion liés au chauffage domestique et le trafic automobile sont des sources connues de particules fines, ce qui peut également expliquer la part plus importante de particules fines sous influence urbaine (G. Sylvain, 2022, p.185). Ces résultats confirment que le risque sanitaire lié aux concentrations de particules fines est donc réel (G. Sylvain, 2022, p.185). En effet, Selon l'OMS, le risque de mortalité à court terme augmente de 2,5% pour des concentrations moyennes journalières supérieures à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5}. Ce risque passe à 5% pour les concentrations supérieures à 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5}. A long terme le risque de mortalité liée à l'exposition prolongée est de 15% pour des concentrations moyennes annuelles de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5} (WHO, 2021, p.97).

Conclusion

Nos résultats apparaissent, d'un point de vue global, cohérents avec la littérature malgré certaines lacunes et différences observées (tel que la norme utilisée). Tout comme la campagne des mesures des PM_{2,5} en 2015, nous avons observé une similitude de l'évolution des variations moyennes de concentrations aux PM_{2,5} au niveau de la ville de 2016-2019. Le niveau de concentrations varie entre 15 et 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sur l'ensemble des mesures, une moyenne de 183 jours de

dépassement du seuil de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été atteinte sur la période 2016-2019 contre 132 pour 2015. Cette tendance se confirme aux résultats observés pour les particules grossières (PM_{10}) en 2019. Pour les PM_{10} en 2019, les concentrations mesurées ont fréquemment dépassé $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière sur les sites. Le profil hebdomadaire de l'évolution des $\text{PM}_{2,5}$ montre une nette diminution des concentrations le week-end (Samedis et Dimanches). La source principale de $\text{PM}_{2,5}$ affectant ce site est donc active uniquement pendant les jours ouvrés. Les concentrations observées durant les jours ouvrés sont en moyenne plus de 30% supérieures à celles enregistrées en fin de semaine. Le profil journalier annuel montre que les maximums des valeurs sont enregistrés entre 8h et 16h. Ce qui coïncide aux heures d'activités et aux heures d'importantes circulations automobiles sur les grands axes de la ville.

Les concentrations des PM_{10} relevées au niveau de la ville ont considérablement diminué de 20h et 08h du matin et atteignent régulièrement des valeurs moyennes très faibles, proches de la limite fixée par la norme Sénégalaise ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cependant, aux heures d'activités, de 08h à 20h, on peut constater une forte concentration de ces polluants dans l'air ambiant. Cette évolution s'explique, entre et autre, par le rejet dans l'air ambiant des polluants particulaires d'origine anthropique. Le cycle journalier quant à lui, souligne une implication plus complexe, entre les sources d'origine industrielles et urbaines, et l'influence de la météorologie au niveau de la ville. Ceci a permis de voir qu'à cette échelle journalière les caractéristiques de la pollution particulaire sont plus instables et plus fortement variables dans le temps. Pour le cycle hebdomadaire il est apparu que c'est l'industrie qui influence le plus la qualité de l'air. Ainsi nous pouvons considérer que les concentrations obtenues durant notre étude, sont comparables aux cycles annuels représentatifs d'un niveau moyen particulaire de la littérature.

Bibliographie

- Amann M, Bertok I, Cofala J, Gyarfas F, Heyes C, Klimont Z ;2005 : *Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE). Programme. Directorate General for Environment. Directorate C – Environment and Health. European Commission. Final Report, 79p.*
- ANSD. 2024 *Situation économique et sociale du Sénégal. Rapports provisoires du cinquième recensement général de la population (RGPH-5, 2023), «Atlas démographiques du Sénégal» (ANSD, ATLAS 2024). Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, 193p.*
- ANZIVINO Lucie. 2019 *Evaluation d'impact sur la santé Parc de l'Eperviere – Valence, 86p. Observatoire Régional de la Santé (ORS), Auvergne-Rhône-Alpes | 2018. 86p.*
- ASN. 2003 *Pollution atmosphérique - Norme de rejets. 28p. Edité et diffusé par l'Association Sénégalaise de Normalisation (ASN) – E-mail :asn@sentoo.sn*
- Bhugwant P et Sieja B. 2015 *Bilan de la qualité de l'Air sur la commune de Sainte-Suzanne- Periode de surveillance : 2004 à 2014 à l'ile de la Réunion. Rapport de l'Observatoire Réunionnaise de l'Air (ORA), Sainte-Suzanne, 23p.*

BOUDET C, CASSADOU S, DESQUEYROUX H, GLORENNEC P, MEDINA S, NERRIERE E. 2004: *Impact Sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Rapport : Association Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (AFSSE), Paris-France, 95p.*

CGQA.201. *Air quality monitoring in Dakar. Retrieved 2017 www.air-dakar.org*

DIOUF Semou, SAMBOU Marie-Jeanne, DEME Abdoulaye, FALL Papa, GUEYE Dame, MIGNOT Juliette and JANICOT.Serge 2024 *Dust Content Modulation and Spring Heat Waves in Senegal (2003–2022) Modulation and Spring Heat Waves in Senegal (2003–2022). Atmosphere 2024, 15, 1413. <https://doi.org/10.3390/atmos15121413> Academic Editor: Luca Stabile, 35p.*

GNAMIEN N'DOUFFOU Konan Sylvain. 2022 *Caractérisation de la pollution particulaire (PM₁₀ et PM_{2,5}) à Abidjan et Korhogo (Côte d'Ivoire) en lien avec la santé des populations. Thèse de doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny. Mention : physique spécialité : physique-chimie de l'atmosphère. 185p.*

LINDA J, POSPISIL J, KOBOLLOVA K, LICBINSKY R, HUZLIK J, KAREL J 2022 *Conditions affecting Wind-induced PM10 Resuspension as a Persistent Source of Pollution for the Future City Environment. Sustainability, 14(15) :9186*

NDONG Awa. 2019 *pollution de l'air extérieur et intérieur à Dakar (Sénégal) : Caractérisation de la pollution, impact toxicologique et évaluation épidémiologique des effets sanitaires. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar / Discipline : Toxicologie, 183p.*

NGUELIEU Christian Roger. 2017 *Evaluation des risques de contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn) des sites maraîchers urbains de Yaoundé (Cameroun). Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et périurbain. URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3071>. 60p*

OMS. 2021 *Pollution de l'air et santé de l'enfant. Prescrire un air sain. Résumé. Genève. Organisation Mondiale de la Santé. WHO/CED/PHE/21.01, 32p. Catalogage à la source. Disponible à l'adresse <http://apps.who.int/iris>.*

Sagna Pascal. 1990 *Brusque refroidissement du temps à Dakar : analyse de la situation météorologique du 12 au 16 janvier 1990. Veille Climatique Satellitaire, (35), 35-46. ISSN 1144-2026*

TAO Xue, MINGKUN Tong, JIAJIANGHUI Li, RUOHAN Wang, TIANJIA Guan, JIWEI Li, PENGFEI Li, HENGYI Liu, HONG Lu, YANSHUN Li & TONG Zhu. 2022 : *Estimation of stillbirths attributable to ambient fine particles in 137 countries. 17p. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34250-4>*

TECKIE Botchway ; 2023 *Sources of Particulate Matter (PM₁₀) in Reykjavik on days exceeding the health limit in 2015 and recommendations for Ghana's air quality policy development, Master, Faculty of Earth Sciences University of Iceland, 102p.*

TINE Moussa. 2023 *Dynamique sédimentaire et risques côtiers associés sur le littoral de Bargny, petite côte, Sénégal. Université Assane SECK de Ziguinchor, Mémoire de Master 2 Mention : Physique et Applications Spécialité : Sciences de l'Atmosphère et de l'océan, 63p.*

WHO. 2023 *Particulate Matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva : World Health Organization ; 2023. *Setting ambitious goals for air quality to protect public health, May 16 2023. 32p.*

ZHAN Ren, LIU Xingyuan, LIU Tianyu Wuhan, KUIZHUANG Jiao, XIAODIE Wang, SUO Wuhan, YANG Haomin, JINGLING Liao, LU Ma. 2021 *Effect of Ambient Fine Particulate (PM_{2,5}) on Hospital Admissions for Respiratory and Cardiovascular Diseases in Wuhan, China / School of Public Health, Wuhan University/ Respiratory Research, 22.128*[https://orcid.org/0000-0001-8289-712X.22p](https://orcid.org/0000-0001-8289-712X)

