

SIGLES ET ABREVIATIONS

CGQA	:	Centre de Gestion de la Qualité de l'Air
CO	:	Monoxyde de Carbone
CO₂	:	Dioxyde de Carbone
COV	:	Composés Organiques Volatiles
NO	:	Monoxyde d'Azote
NO₂	:	Dioxyde d'Azote
NO_x	:	Oxydes d'Azote
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
PM₁₀	:	Matière Particulaire de diamètre aérodynamique < 10 µm
PM_{2,5}	:	Matière Particulaire de diamètre aérodynamique < 2,5 µm
UE	:	Union Européenne

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Valeurs guides OMS normes (Union Européennes, Sénégal)	10
Tableau II : Concentrations CO, CO ₂ , PM ₁₀ obtenues entre les jours fériés et jour ordinaire (JO)	20
Tableau III: Concentration journalière entre 8h-20h des polluants mesurés	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des sites de mesure dans la région de Dakar	17
Figure 3 : Appareil de mesure AQ PRO	19
Figure 2 : Appareil de mesure EVM-7	19
Figure 5 : Courbes des moyennes horaires des températures et humidité au carrefour Sahm-axe avenue Cheikh Anta DIOP	21
Figure 4 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, PM ₁₀ au carrefour Sahm-axe avenue Cheikh Anta DIOP	21
Figure 7 : Courbes des moyennes horaires des températures et humidité à la gare routière de Petersen	22
Figure 6 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, PM ₁₀ à la gare routière de Petersen	22
Figure 9 : Courbes des moyennes horaires du NO ₂ , du CO et la température à la gare routière de Lat DIOR.....	23
Figure 8 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, NO ₂ , PM ₁₀ à la gare routière de Lat DIOR	23
Figure 10 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, CO ₂ , PM ₁₀ à la Biscuiterie (rue A).....	24
Figure 11 : Courbes des moyennes horaires des concentrations PM ₁₀ , température humidité à la Biscuiterie (rue A).....	24

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES	3
I- GENERALITE SUR LA POLLUTION DE L’AIR	4
I-1 Définitions et origine de la pollution atmosphérique	4
I-1-1 Définitions	4
I-1-2 Les origines de la pollution atmosphérique	4
I-2 Les principaux polluants de l’air ambiant en milieu urbain	5
II- IMPACT SUR LA SANTE DES PRINCIPAUX POLLUANTS ETUDIES	7
II-1 Prévention sanitaire : Normes règlementaires	9
III- CONDITIONS DE MESURE DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES	11
III-1 Facteurs de dispersion des polluants dans l’espace urbain	11
III-2 Les Systèmes de surveillance de la qualité de l’air	13
III-2-1 Campagne de mesure	13
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	15
I- METHODOLOGIE	16
I-1 Cadre d’étude	16
I-2 Matériel	18
I-3 Protocole des mesures	19
II- RESULTATS	20
III-DISCUSSION	26
CONCLUSION	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32

INTRODUCTION

Dans les conditions idéales, l'air que nous respirons serait un mélange gazeux en équilibre, indispensable à la vie. Au fil du temps cet équilibre a été altéré, à cause des activités humaines sans cesse croissantes, mais aussi des facteurs naturels. Ce changement a conduit à l'introduction ou à l'augmentation dans l'air d'éléments nocifs tant pour l'Homme, que pour son milieu de vie. Ces éléments sont qualifiés de polluants, et de nombreuses études ne cessent de mettre en évidence les effets néfastes et toxiques de ces polluants, qui aujourd'hui occupent une place importante dans l'actualité. En 2008 l'OMS indiquait que 1,3 million de décès dans le monde étaient attribuables à la pollution atmosphérique, dont 82 000 en Afrique sub-saharienne, ce continent a enregistré entre 2004 et 2008 une augmentation de 16% du nombre total de décès causé par la pollution de l'air **(NAIDJA et al, 2017)**. Par ailleurs 72% des décès prématurés liés à la pollution de l'air extérieur résultaient en 2012 de cardiopathies ischémiques et d'accidents vasculaires cérébraux, 14% de bronchopneumopathies chroniques obstructives ou d'infections aiguës des voies respiratoires inférieures, tandis que les 14% restants étaient imputables au cancer du poumon **(OMS, 2016)**. Face à ce mal les pays développés ont mis en place des politiques restrictives, des outils de surveillance et aussi des technologies afin de limiter ou de prévenir la pollution atmosphérique d'origine anthropique, ce qui a conduit au fil des années à une baisse du niveau de pollution dans les pays du Nord. A l'inverse dans les pays en voie de développement, cette pollution de l'air tend à augmenter, avec une dominance dans les zones urbaines et périurbaines. Cette augmentation de la pollution atmosphérique dans les grands centres urbains des pays en développement est imputée à la constante augmentation du trafic urbain, et dans un second temps à l'augmentation des activités industrielles, des activités économiques, et à la combustion de la biomasse par la population dans ces activités quotidiennes. Le transport est la principale source d'émission de polluants car, en plus de la croissance rapide du nombre de véhicules et du nombre de deux-roues, s'additionne le nombre important de moteurs mal entretenus et le carburant de mauvaise qualité **(DEMAY, 2011)**.

Au Sénégal, le parc automobile national a progressé de 7,4% en 2013 contre 7,3% en 2012 et le nombre de véhicules est passé de 374 384 en 2012 à 401 910 en 2013. La répartition de ces véhicules sur le territoire national demeure inégalitaire. En effet, 72,8% des véhicules du parc automobile national restent concentrés à Dakar. De plus ce parc automobile national est constitué, dans sa grande majorité, de véhicules d'occasion. En effet, seuls 27,2% des

véhicules du parc automobile sont achetés à l'état neuf jusqu'en 2013 (**ANSD, 2016**). Cette concentration de véhicule dans la capitale conduit à des niveaux de pollution plus élevée en zone urbaine. Afin de surveiller la qualité de l'air Dakar dispose d'un Centre de Gestion de la Qualité de l'Air (CGQA), qui travaille à l'aide de cinq stations de mesures installées dans la ville (Médina, Bel Air, Yoff, HLM, Cathédrale), et dont la surveillance porte sur les polluants couramment rencontrés en zone urbaine.

Cependant, il existe un déficit d'étude quant à l'évolution et au profil horaire de ces polluants, dans une journée. C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier l'évolution des polluants en milieu urbain au cours d'une journée.

Notre travail a pour objectif général d'observer l'évolution journalière des polluants atmosphériques en milieu urbain.

IL s'agira spécifiquement d'effectuer des mesures de certains polluants atmosphériques dans une journée sur des zones choisies, d'évaluer les effets de la circulation automobiles, de même que certaines conditions météorologiques, sur la qualité de l'air ; et de déterminer l'évolution des polluants pendant les heures d'activités.

Pour cela notre étude s'effectuera en deux parties, initialement nous dresserons une étude bibliographique par rapport à notre sujet, puis nous présenterons notre travail et les conclusions qui en seront tirées.

**PREMIERE PARTIE :
RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES**

I- GENERALITE SUR LA POLLUTION DE L'AIR

I-1 Définitions et origine de la pollution atmosphérique

I-1-1 Définitions

Les définitions de la pollution sont variées, mais elles convergent toutes vers le même concept de base. La définition la plus utilisée est celle de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, qui définit la pollution atmosphérique ou pollution de l'air comme étant :

« L'introduction par l'Homme directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives » (Germain Gaston, 2006)

I-1-2 Les origines de la pollution atmosphérique

➤ Les polluants d'origines naturelles

Il existe des phénomènes naturels qui altèrent la qualité de l'air, par émission de gaz ou de particules polluantes.

Il y'a les embruns marins, et les éruptions volcaniques qui rejettent des milliers de tonnes de gaz, d'aérosols et autres polluants dans l'atmosphère. Les facteurs « naturels » comme les conditions météorologiques, aggravent ou améliorent la qualité de l'air. Les conditions météorologiques parfois défavorables limitent la dispersion des polluants dans l'atmosphère et contribuent à l'observation des pics de pollution qui dégradent la qualité de l'air (temps froid ou ensoleillé, anticyclone, vent faible ou violent, etc.).

Les émissions naturelles regroupent également les incendies naturels de forêts, la décomposition de la matière organique, le soulèvement naturel de poussières, etc. Elles ne sont donc pas à négliger (BAYE, 2012)

➤ La pollution d'origine anthropique

Cette forme de pollution provient des multiples activités de l'Homme telles les cheminées industrielles, les transports, les gaz d'échappement des voitures et camions, l'agriculture, les centrales électriques qui fonctionnent au charbon, au pétrole ou gaz, aux activités minières,

aux décharges et à l'incinération des déchets (**BAYE, 2012**). En milieu urbain on distingue les sources fixes de pollution et les sources mobiles.

Les sources fixes concernent essentiellement les industries, comme les centrales thermiques alimentées au fuel ou au charbon, les installations de chauffages domestiques individuels et collectifs, les foyers de combustion de l'industrie, la pétrochimie, les raffineries (**CACHON, 2013**).

Les sources mobiles sont caractérisées par la circulation automobile. Les rejets automobiles constituent, en ville et sur les routes, la plus importante source de pollution extérieure, qu'ils s'agissent des véhicules à essence ou des véhicules Diesel.

Au Sénégal les principales sources de pollutions atmosphériques sont les activités industrielles et les transports, grands consommateurs de produits énergétiques. En 1999 on estimait les émissions de véhicules toutes catégories confondues, à 25296 tonnes de monoxyde de carbone, 4198 tonnes de carbure d'hydrogène, 18933 tonnes d'oxyde d'azote et 8167 tonnes de particules. Alors que les émissions du secteur industriel était estimé respectivement à 57000, 85, 1000, 10 tonnes (**DIOP, 2007**)

➤ **Pollution atmosphérique locale**

La pollution atmosphérique locale est essentiellement due aux activités humaines et s'observe notamment dans les agglomérations quand on est proche des sources d'émissions comme les émanations des systèmes de chauffage des habitations, les rejets industriels et des gaz liés aux moyens de transport, etc. Les polluants induits sont en général d'origine métallique qualifiés de matières particulaires (<< particulate matter : PM >> en anglais) ou oxyde comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) ou encore carbonées comme les composés organiques volatils (COVs), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), le carbone élémentaire ou carbone suie, etc. La pollution de proximité à l'échelle locale affecte la santé des populations, nuit aux plantes et au développement agricole et favorise la dégradation des monuments et des bâtiments (**CACHON, 2013**)

I-2 Les principaux polluants de l'air ambiant en milieu urbain

En zone urbaine on distingue deux types, les polluants primaires et les polluants secondaires.

Les polluants primaires qui sont directement rejetés dans l'atmosphère depuis la source d'émission; et les polluants secondaires qui sont formés dans l'air à partir de polluants

primaires (ou précurseurs), qui se combinent entre eux par des réactions photochimiques. Parmi les principaux polluants primaires se trouvent des particules en suspension (PM_{10} et $PM_{2,5}$), du dioxyde de soufre (SO_2), monoxyde d'azote (NO), monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures légers, des composés organiques volatils (COV) et des métaux lourds comme le plomb (Pb), le mercure (Hg) ou le cadmium (Cd).

Au rang des polluants secondaires figurent des gaz tels le dioxyde d'azote (NO_2) qui peut être aussi classé comme polluant primaire, et plus particulièrement l'ozone (O_3) en période de forte température (<http://www.lepoulsdelaplanete.com/dossier/quels-sont-les-principaux-polluants-de-lair/>).

En France, les principaux polluants réglementés et considérés comme des indicateurs de la qualité de l'air urbain sont le SO_2 , les NO_x , les particules en suspension, O_3 , le CO, les COV et le Pb (**Journal Officiel de la République française, 2010**). A l'exception du Pb, qui n'est plus un indicateur de la pollution automobile, car il a été supprimé de l'essence depuis 2005 ; l'ensemble des polluants mentionnés sont suivis par le CGQA du Sénégal. Dans la suite du travail, nous ne présenterons que les polluants soumis à notre étude.

➤ **Le monoxyde de carbone (CO)**

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et non irritant, qui se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz naturel, charbon, fioul, carburants, bois, etc.). Il est émis principalement par les industries, les activités de chauffage, l'agriculture ainsi que par le trafic automobile : moteur au ralenti dans un espace clos (garage), embouteillage dans des espaces couverts (tunnels...), mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique. Le monoxyde de carbone participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone qui contribue à l'effet de serre. Au vu du caractère volatil du monoxyde de carbone et des réactions chimiques auxquelles il participe, sa mesure est plus significative à proximité même des sources de rejets (**FOURNIER, 2007**).

➤ **Le Dioxyde de carbone (CO_2)**

CO_2 est un gaz incolore, inodore, présent dans l'atmosphère dans une proportion égale à 0,0375 % en volume, soit 375 ppm (parties par million en volume). Il est produit notamment lors de la fermentation aérobie ou de la combustion de composés organiques et lors de la respiration des êtres vivants et des végétaux (pour ces derniers, la photosynthèse piège beaucoup plus de CO_2 que sa respiration n'en produit). Mais la quantité de CO_2 augmente aussi du fait des activités humaines de consommation des combustibles fossiles. Le dioxyde

de carbone est un gaz à effet de serre, contribuant au réchauffement climatique (**atmopaca, 2007**).

➤ **Les oxydes d'azotes ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$)**

En zone urbaines lorsqu'on parle des NO_x il s'agit du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO_2). Ils proviennent de source anthropique notamment les combustions, à haute température, de combustibles fossiles. Ils sont très bien corrélés au trafic, la teneur en NO_x est un très bon indicateur de la pollution automobile, d'autant plus qu'il tient compte du parc des véhicules diesel (**OOUARZI et al., 2003**). Le NO_2 présent en phase gazeux dans l'atmosphère réagit avec les radicaux hydroxyles et subit des réactions photochimiques conduisant à la formation de O_3 . La transformation de NO_2 en acide nitrique (HNO_3) est la voie chimique majeure d'élimination du NO_2 atmosphérique (**IBGE-LRE : Rapport de la Qualité de l'Air 2009-2011, p 4.1**).

➤ **Les particules en suspension (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$)**

Les poussières en terme génériques désignent toutes les particules de matière en suspension dans l'air ambiant. On les appelle également << aérosols >> ou << particulate Matter >>. Il s'agit d'un mélange complexe de petites particules solides et de gouttelettes liquides. Elles sont de petites tailles, ne dépassant pas $10\ \mu\text{m}$, elles sont classées selon leurs diamètres aérodynamiques (**DEBROCK et al., 2009**).

Ces particules proviennent d'activité naturelles mais majoritairement d'activité humaines (industries, chauffage domestiques, incinérateurs, mode de transport). Au niveau du trafic automobile les particules proviennent des échappements, des pneus, des garnitures de frein, des équipements, de l'usure des moteurs, etc. On estime que les véhicules << Diesel >>, sont plus impliqués dans l'émission de poussière que les véhicules << essence >> (**NDAW, 2004**).

II- IMPACT SUR LA SANTE DES PRINCIPAUX POLLUANTS ETUDIES

➤ **Particule en suspension**

L'absorption des aérosols dépend de leur propriété physico-chimique (taille, forme, surface, caractère hygroscopique et hydrosoluble, composition chimique), mais aussi de l'anatomie et l'histologie de l'appareil respiratoire (**ANNESI-MAESANO, et DAB, 2006**). La majorité des $\text{PM}_{>10}$ se dépose par impaction au niveau de l'oropharynx avant d'être déglutie. Les

particules dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2,5 et 10 μm ($\text{PM}_{2.5-10}$) se déposent principalement au niveau de l'arbre trachéo-bronchique. **(DOUMBIA, 2012).**

Les particules de la fraction $< 2,5 \mu\text{m}$ peuvent pénétrer plus profondément et les plus petites peuvent être acheminées jusque dans les alvéoles pulmonaires, où il y a passage de substances toxiques voire dangereuses vers la circulation sanguine. Les fractions thoracique ($<\text{PM}_{2.5}$) et alvéolaire ($<\text{PM}_1$) des particules sont responsables de l'irritation des voies respiratoires, de l'altération de la fonction respiratoire surtout chez l'enfant et les personnes âgées de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des crises d'asthmes chez des sujets asthmatiques, de problèmes cardio-vasculaires, d'une augmentation de décès prématurés, d'une diminution de l'espérance de vie **(DEBROCK et al., 2009)**

➤ **Oxydes d'azotes ou NO_x (NO et NO_2)**

L'absorption du NO est de l'ordre de 85 à 92 % pour des expositions comprises entre 400 et 6 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,33 et 5,0 ppm), en cas de pratique d'un exercice physique cette absorption serait de 91 à 93%. Pour le NO_2 , à des concentrations comprises entre 545 à 13 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,29 à 7,2 ppm), le taux d'absorption est de 81 à 90% lors d'une respiration normale et peut atteindre 91-92% au cours d'un exercice physique. La faible hydrosolubilité du NO_2 lui permet de pénétrer profondément dans le tractus respiratoire, sa réactivité chimique détermine de manière dominante sa cinétique d'absorption. De plus l'absorption du NO_2 au niveau pulmonaire est saturable et très dépendante de la température **(BISSON, 2011).**

Le NO et le NO_2 représentent un risque potentiel pour la santé, en particulier irritations de l'appareil respiratoire, crises d'asthme et bronchiolites. Le NO_2 semble le plus toxique, et entraîne des lésions inflammatoires réversibles du tissu pulmonaire lors d'expositions aiguës et des lésions proches de l'emphysème lors d'expositions chroniques ; pouvant à long terme entraîner une diminution des moyens de défense de l'appareil pulmonaire vis-à-vis d'infections bactériennes et virales **(TISSOT et al., 2014).**

➤ **Monoxyde de carbone (CO)**

Bien absorbé par voies respiratoires, le CO se diffuse ensuite à travers les membranes alvéocapillaires, 80 à 90% du CO absorbé se fixent de manière stable et réversible sur les structures héminiques (hémoglobine, myoglobine, et de manière générale sur toutes enzymes contenant un hème). La fixation sur l'hémoglobine aboutit à la formation d'un composé relativement stable, la carboxyhémoglobine (HbCO), qui modifie la dissociation oxygène-hémoglobine de telle manière qu'il diminue la libération d'oxygène dans les tissus.

L'élimination du CO dépend de la quantité en O₂ disponible, il faut que la pression sanguine en O₂ devienne supérieure à celle en CO (GNING, 2011).

A des concentrations faibles, on observe des maux de tête, des troubles digestifs voire des malaises. A des niveaux plus élevés, la victime tombe dans le coma et risque la mort. Les intoxications au CO peuvent laisser à vie des séquelles de type neurologique et cardiaque. IL présente un danger pour le fœtus, lors de l'intoxication on constate une diminution immédiate de la quantité d'oxygène qui lui parvient alors que ses organes et surtout son cerveau étant en phase de croissance. L'intoxication est responsable de troubles du développement, de retard de croissance voire de mort in utero (El YAMANI, 2006)

➤ **Le dioxyde de carbone (CO₂)**

Ce gaz intervient avec d'autres gaz dans le phénomène dit d'effet de serre à l'origine du réchauffement climatique. Sa toxicité vis à vis de l'homme est moins connue mais réelle et est indépendante de sa propriété de gaz asphyxiant. Elle se manifeste lorsque la concentration atteint 1 à 2% dans l'air (BONNARD, 2016).

II-1 Prévention sanitaire : Normes réglementaires

➤ **Règlementation**

Les normes fixent des valeurs limites (ne devant pas être dépassées ou pouvant être dépassées un nombre limité de fois dans l'année), qui ont pour but la protection de la santé humaine et de l'environnement (ADEME, 2002).

Elles s'appliquent à différents domaines et milieu. Au niveau international, l'OMS élabore des normes et valeurs guides basées, sur des études épidémiologiques et toxicologiques. Ces valeurs guides pour les polluants de l'air (« guidelines » en anglais) de l'OMS, constituent des objectifs à long terme, elles ne concernent que des composés individuels. Idéalement, les directives recommandent des valeurs guides représentant des concentrations de polluants dans l'air qui ne présentent pas de danger pour la population humaine. Dans les pays où la législation dans ce domaine n'est pas réglementée, les directives de l'OMS sont généralement adoptées, si ce pays dispose de moyens techniques, et financiers pour les respecter (GARCIA et COLOSIO, 2001).

Au Sénégal c'est l'Association Sénégalaise de Normalisation qui établit les normes de protection de l'environnement ; les polluants sont réglementés par la norme NS 05-62. Le

tableau ci-dessous, présente les différentes normes appliquées entre celles du Sénégal, de l'Union Européenne (UE), et de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau I : Valeurs guides OMS normes (Union Européennes, Sénégal) (GUEYE, 2012)

Polluants	Période Moyenne	Sénégal (norme)	UE (valeurs limites)	OMS (directive)
NO ₂	1 heure	200µg/m ³ (0,106 ppm)	200µg/m ³	200 µg/m ³
	1 an	40 µg/m ³	40µg/m ³	40 µg/m ³
PM ₁₀	24 heures	260 µg/m ³	50µg/m ³	50 µg/m ³
	1 an	80 µg/m ³	40µg/m ³	20 µg/m ³
CO	15 mn			100 mg/m ³
	30 mn			60mg/m ³ (52,374ppm)
	1 heure			30mg/m ³ (26,187ppm)
	8 heures		10 mg/m ³	10 mg/m ³ (8,729ppm)
	24 heures	30 mg/m ³		

Nitrogen dioxide (1 ppm NO₂ = 1880 µg/m³; 1 µg/m³ NO₂ = 5.32 × 10⁻⁴ ppm)

Nitric oxide (1 ppm NO = 1230 µg/m³; 1 µg/m³ NO = 8.13 × 10⁻⁴ ppm) (OMS, 2015).

Le dépassement de ces valeurs guides, plusieurs fois dans l'heure, la journée ou même le mois, entraine sans nul doute des conséquences sur le plan sanitaire. C'est pourquoi de nombreux pays ont mis en place des systèmes de gestion de la qualité de l'air. Un tel système inclue par des outils de contrôle des émissions, des indices de qualité de l'air, et des outils de communications.

III- CONDITIONS DE MESURE DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

III-1 Facteurs de dispersion des polluants dans l'espace urbain

IL y'a des conditions qui participent à l'augmentation ou la dispersion des polluants dans un milieu : le milieu d'émission, le vent, la pluviométrie, l'ensoleillement, l'inversion de température.

➤ Le milieu d'émission

Le niveau des polluants, dépend d'abord du nombre de véhicule en circulation, et aussi de la nature des véhicules. Les véhicules les plus lourds émettront certainement plus de polluants, avec des pointes en matinée et dans la soirée. En cas d'embouteillage, la vitesse du trafic entre en ligne de compte ; les émissions de NOx et de particules sont élevées à très faibles vitesses. La topographie du milieu compte également, en fonction de la largeur de la route et de la hauteur du bâti, la dispersion de la pollution est variable, à titre d'exemple elle est plus élevée dans les rues étroites et bordées de bâtiment, elle est meilleure en zone dégagée. Sur une route inclinée le niveau de pollution est plus grand, dans le sens de la montée (AIRPARIF, 2012).

➤ Le vent

Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentrations de polluants. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. Un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants (http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/intro/1_5.htm). L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion est facilitée par le vent. Plus il 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).

Pour les pays ouest africains un élément très important, qui influence les concentrations de polluants est l'Harmattan, vent important venu de l'intérieur du continent durant la saison sèche. Ce vent transporte de nombreuses poussières à cause de son passage dans le désert avant d'arriver sur la ville. Le vent, en plus de disperser la pollution, peut donc également transporter de la pollution d'un lieu à un autre pouvant ainsi advecter sur la ville de Dakar des poussières venues du Sahara (DEMAY, 2011).

➤ **Pluviométrie**

La pluviométrie a également son importance, les particules et les gaz peuvent être dilués dans l'eau en suspension, dans le brouillard, dans les nuages. La pluie agit comme un épurateur de l'air, on parle de "lessivage", pour les polluants gazeux et particulaires présents dans le milieu ambiant. Cela implique que la qualité de l'air est meilleure lorsque que les précipitations sont importantes. D'autre part, les précipitations ramènent les particules vers le sol, mais influent aussi sur le lessivage de ceux-ci (dépôt humide). La pluviométrie a donc un rôle bénéfique pour l'air mais défavorable pour le sol et l'eau (CAÏNI, 2011).

➤ **L'ensoleillement**

L'ensoleillement provoque un réchauffement des sols et des surfaces. Ceci entraîne des phénomènes de convection qui sont à l'origine de mouvements verticaux et horizontaux de l'atmosphère (l'air chaud étant plus léger que de l'air froid). L'ensoleillement agit également sur la chimie des polluants. Le rayonnement solaire intense pendant les périodes de chaleur est un déclencheur chimique qui entraîne la production de O₃ à partir des polluants dits précurseurs (<http://www.atmo-reunion.net/La-dispersion-des-polluants.html>)

➤ **Inversion de température**

La dispersion verticale des polluants est favorisée par des conditions atmosphériques instables, c'est-à-dire que les polluants émis avec une température plus élevée que celle de l'air ambiant, auront tendance à s'élever, et à refroidir avec l'augmentation de l'altitude ce qui conduit à une dispersion verticale des polluants. Par contre dans les conditions atmosphériques stables, l'air qui généralement refroidissait avec l'altitude, se réchauffera à partir d'une certaine hauteur, ce phénomène est appelé inversion de température.

C'est un phénomène souvent rencontré au cours de la nuit, où les couches d'air au niveau du sol deviennent plus froides que les couches immédiatement supérieures. Ce qui entraîne l'accumulation des polluants dans la zone d'inversion de température. En France les pics de pollution au SO₂, aux NO_x et aux PM₁₀ sont souvent liés à ce phénomène d'inversion de température (<http://www.air-rhonealpes.fr/article/influence-de-la-meteo>)

III-2 Les Systèmes de surveillance de la qualité de l'air

Après avoir identifié les sources de pollution atmosphériques, les caractéristiques des polluants, et leur impact sur la santé, il est nécessaire de disposer d'outils de mesure et d'information, quant au niveau de pollution dans certaines zones. C'est pourquoi de nombreux pays disposent de centres de surveillance de la qualité de l'air, dont l'objectif principale est d'informer les autorités publics, et ensuite les populations en cas de pic de pollution. Ces centres de surveillance mesurent en continue les polluants atmosphériques sur un territoire plus grand, ou effectue des mesurent ponctuelles pour des études sur une zone plus restreinte.

III-2-1 Campagne de mesure

➤ Station fixe

Le réseau fixe de surveillance de la qualité de l'air est organisé autour de stations fixes qui participent au suivi des phénomènes de pollution spécifique (mesure en proximité automobile ou industrielle). Ces données de qualité de l'air, transmises en temps réel via le réseau téléphonique au poste central, sont centralisées dans des bases de données informatiques avant d'être validées puis diffusées à grande échelle. Les mesures en temps réel sont possibles grâce aux appareils d'analyse en continu (**IBGE-LRE : Rapport de la Qualité de l'Air 2006-2008**). Au Sénégal cette tâche incombe au CGQA, qui dispose de cinq stations de mesures dans la ville de Dakar (<http://www.air-dakar.org/stations.html>)

➤ Station de mesure mobile

Les dispositifs de mesures (camion, remorque ou cabine) permettent de renforcer ponctuellement le dispositif de surveillance et de connaître la qualité de l'air en tout point du territoire. Ces dispositifs possèdent les mêmes appareillages que ceux utilisés dans les stations fixes. Ils suivent les mêmes procédures de contrôle du fonctionnement des appareils et de validation des mesures afin d'assurer une qualité de mesure identique à celle pratiquée sur le réseau fixe.

➤ Instruments de mesure

Les instruments de mesures de la pollution atmosphérique sont utilisés pour réaliser trois types de mesures, des mesures en continu, des mesures indicatives et des campagnes de mesures. Pour ces trois mesures, il existe principalement deux types d'échantillonnage ou de prélèvement des polluants (l'échantillonnage passif et l'échantillonnage actif). En fonction de l'objet de l'étude l'un ou l'autre des modèles de prélèvements ou même les deux seront effectués.

L'échantillonnage passif consiste à exposer à l'air libre pendant une durée fixée, à environ 3 mètres de hauteur, des cartouches adsorbants. Par simple diffusion du polluant depuis l'air, celui-ci va être piégé par l'échantillonneur. Ce dernier peut être constitué de charbon actif ou d'autres composés chimiques. Après une exposition de quelques jours à quelques semaines selon le polluant surveillé, les tubes sont récoltés et analysés dans un laboratoire de façon à connaître la concentration moyenne durant la période d'exposition (<http://www.atmo-reunion.net/Les-mesures-par-tube-a.html>)

Le débit d'échantillonnage à travers le média adsorbant ou filtrant peut être contrôlé par une pompe à débit réglable. Le volume prélevé est alors mesuré précisément, il s'agit d'un prélèvement actif. Les mesures en temps réel sont possibles grâce aux appareils d'analyse en continu qui peuvent déterminer, de façon spécifique, la présence d'un ou plusieurs polluants déterminés. De tels appareils existent, pour SO₂, les NO_x, O₃, CO, CO₂, les PM₁₀, les PM_{2,5}, etc. Les appareils d'analyse aspirent, en continu, l'air à travers une chambre de réaction et délivrent en permanence un signal de mesure représentatif de la concentration (OMS, 1982). Ces appareils, existent en modèle de petite taille, ce sont des appareils portatifs de mesure de polluants, qui tiennent parfaitement dans un sac, et que l'on peut déplacer aisément.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

I- METHODOLOGIE

I-1 Cadre d'étude

La région de Dakar est située dans la presqu'île du Cap Vert et s'étend sur une superficie de 550 km², soit 0,28 % du territoire national. Elle est comprise entre les 17° 10 et 17° 32 de longitude Ouest et les 14° 53 et 14° 35 de latitude Nord. Elle est limitée à l'Est par la région de Thiès et par l'Océan Atlantique dans ses parties Nord, Ouest et Sud. Le climat de Dakar est caractérisé, pendant une bonne période de l'année, par un micro – climat marqué par l'influence de l'alizé maritime ; d'où l'existence d'une fraîcheur et d'une humidité quasi permanente et relativement forte de l'ordre de 25%. Toutefois, l'harmattan, l'alizé continental saharien, se font sentir faiblement en saison sèche et au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes. La température varie entre 17° et 25°C de décembre à avril et de 27° à 30°C de mai à novembre. Le régime des vents est marqué par l'influence prédominante de l'alizé. Sa direction principale varie du Nord-Nord-ouest au Nord-Nord-est. La pluviométrie est caractérisée par une durée relativement courte de l'hivernage, variant entre trois et quatre mois de juin à octobre (**France volontaire. Présentation du Sénégal région par région.pdf**).

Le développement de la ville s'est accompagné par des niveaux de pollutions plus élevées que dans les autres villes du pays. Cela justifie le choix de nos sites d'études dans la capitale, il s'agit des : du Rond-point Sahm, la gare routière de Petersen, la gare routière de Lat Dior, à la biscuiterie (rue A).

➤ Rond-point Casino Sahm

L'avenue Cheikh Anta DIOP et le boulevard Gueule Tapée se croisent en un rond-point à proximité duquel on trouve le Supermarché Casino Sahm, et L'hôpital Abass NDAO. Cette zone délimite le quartier de Gueule tapée à celui de Médina, elle est jonchée de nombreux commerces, marchés (Tilène), services publics ; et est également le siège du marché hebdomadaire du Mercredi. C'est l'une des voies principales menant au centre-ville, des véhicules de tous genres y circulent. Nous étions stationnés à quelques mètres du Rond-point précisément sur l'avenue Cheikh Anta DIOP, à côté de la barrière du supermarché Sahm Casino.

➤ La gare routière de Petersen

La gare routière de Petersen est située sur l'avenue Faidherbe entre le prolongement de l'Avenue Sénégal et la rue Mangin. Reliée à tous les nœuds de communication en direction

de la banlieue, elle joue un rôle non négligeable dans le système de transports urbains de la métropole dakaroise. La gare reçoit chaque jour plus de 50 000 personnes, beaucoup de magasins, cantines, boutiques de luxe et centres commerciaux se sont implantés non loin de la gare. Elle dispose de trois aires de stationnement pouvant accueillir des bus, cars urbains et des voitures de particuliers (WADE et al, 2010).

➤ La gare routière de Lat DIOR

Située, entre le grand marché de Sandaga, et le centre-ville coté corniche, le gare routière de Lat Dior est le point de chute de plusieurs transports en commun (Tata, Dakar Dem Dikk, car rapide, diagadiaye et quelques taxi clando) qui y effectuent plusieurs tours dans la journée. Elle dispose de trois voies d'arrêt de bus, sa position justifie qu'elle soit très fréquentée, on y trouve également de nombreux commerces (salon de coiffure, vendeur de café, des gargotes, épicerie).

➤ Biscuiterie (rue A)

Biscuiterie est l'une des 19 communes d'arrondissement de la ville de Dakar. Elle fait partie de l'arrondissement de Grand Dakar. Le quartier est situé dans le centre-sud de la capitale, (Wikipédia). Nous étions positionnés sur la rue A, à proximité de la rue 13, cette zone est très fréquentée par les populations, à cause de nombreux commerces et du grand marché à quelques mètres du site. La rue A est une voie empruntée aussi bien par les véhicules de particulier que par ceux de transport en commun.

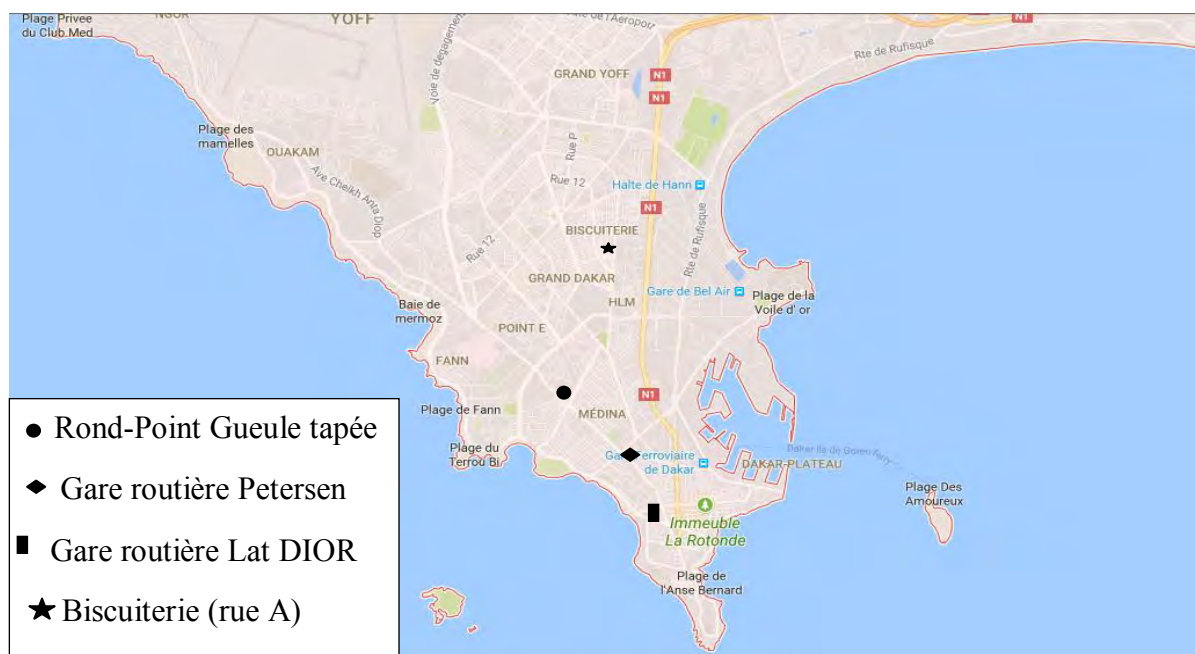


Figure 1 : Localisation des sites de mesure dans la région de Dakar

I-2 Matériel

➤ Les appareils de mesure

Lors de notre travail nous avons utilisé deux appareils portables de mesure, il s'agit de :

- L'AQPRO, pour les mesures des NO_x ;
- L'EVM-7 pour les mesures des PM₁₀, du CO et du CO₂.

Ces appareils fournissent également des informations sur la température, l'humidité relative, et le point de rosée, la pression atmosphérique...

Ils peuvent également mesurer d'autres gaz, en fonction des paramétrages et des capteurs installés, mais dans le cadre de notre campagne, nous avons juste mesuré ceux mentionnés.

-L'AQPRO a une précision approximative de ± 2 ppm pour le NO, et de $\pm 0,5$ ppm pour le NO₂. Sa polyvalence est liée au nombre de capteur qu'il possède, ce sont essentiellement des capteurs à gaz, regroupés en quatre catégories.

Il s'agit de deux capteurs de gaz électrochimiques, un capteur infrarouge, un détecteur d'ionisation photoélectrique, et un capteur non gazeux pour les paramètres comme la température, l'humidité....

Pour la mesure des NO_x c'est le capteur de gaz électrochimique qui est utilisé par l'appareil, Il s'agit d'un capteur à trois électrodes qui répond aux gaz à dioxyde d'azote. Le dioxyde d'azote est un gaz "collant" et la réponse de ce capteur est généralement le plus lent de tous les capteurs.

Ce capteur à trois électrodes qui répond à l'oxyde nitrique, il est équipé d'un filtre intérieur pour éliminer toute interférence d'autres gaz acides. Le capteur d'oxyde nitrique nécessite une tension de polarisation constante pour un bon fonctionnement. Ceci est fourni par la batterie du moniteur. Si la tension de la batterie descend en dessous d'une certaine valeur, le moniteur s'éteint automatiquement pour maintenir le biais du capteur. Les valeurs sont données chaque 30 secondes, l'extraction des résultats est possible grâce à un logiciel préinstallé, sur l'ordinateur (**AQ PRO Instruction & Operations Manual Version 1.05**)

-L'EVM-7 dispose d'une pompe de prélèvement d'air intégrée qui aide à la collecte des particules, tandis que le photomètre laser fournit une mesure en temps réel. Il dispose d'une cassette de filtre standard de 37mm utilisée pour l'échantillonnage gravimétrique et l'analyse en laboratoire. Il dispose de 3 capteurs de gaz, tel qu'un détecteur à photoionisation haute performance (PID) pour la mesure des COV, d'un capteur pour la

mesure de CO₂ ; et un capteur pour un gaz toxique au choix, tel que le CO. Comme l'AQPRO, les valeurs sont données toutes les 30 secondes, et l'extraction des résultats est permise par un logiciel préinstallé, sur ordinateur (<https://www.safetyonline.com/doc/evm-7-environmental-monitor-0002>)



Figure 3 : Appareil de mesure EVM-7



Figure 2 : Appareil de mesure AQ PRO

I-3 Protocole des mesures

La campagne de mesure a débuté le 14 Novembre 2016, et s'est achevée le 20 Décembre 2016, elle n'a pas été menée tous les jours. Les week-ends étaient exclus, des pauses entre certains jours de mesure étaient nécessaires, pour la mise au point des valeurs déjà obtenues.

Nous avons effectué trois jours de mesure sur chacun des sites choisis, chacune de ces mesures étaient programmées sur une durée de huit heures de temps dans la journée, les horaires des mesures se classaient en trois sur les sites (8h-16h, 10h-18h, 12h-20h). Ce protocole a été mené sur chaque site, ce qui correspond à trois mesures par site. Ce qui nous a permis d'obtenir une série de N mesures entre 8h-20h, permettant de calculer les moyennes horaires. Des mesures témoins ont été effectuées pendant les jours fériés du MAGAL et de GAMOU au niveau du carrefour Gueule tapée.

Avant chaque mesure, il était nécessaire de régler les appareils, afin qu'ils donnent une valeur des paramètres mesurés chaque 30 secondes, il était aussi important de tenir compte de la position des appareils par rapport au sol, de même que de la distance aux véhicules stationnés les plus proches. L'EVM-7 et l'AQPRO étaient à environ à 1m-1m,50 du sol, à une distance variant entre 2m à 3m du véhicule le plus proche. Cela a été possible grâce à la compréhension des commerçants, qui nous ont permis d'installer les appareils sur leurs

étals, et de les protéger du soleil. Pendant les heures de fonctionnement les appareils étaient déplacés légèrement, quand c'était nécessaire afin de les protéger des rayons solaires. Les batteries des appareils étaient rechargées la nuit de la veille des mesures, l'EVM-7 tenait parfaitement pendant les 8heures de mesures et même au-delà, par contre l'AQPRO se déchargeait quelques fois plus vite.

II- RESULTATS

Nous avons utilisé les sites internet (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2004-101/calc.html>) pour convertir les valeurs de la réglementation (OMS, UE, Sénégal) afin de les comparer aux valeurs obtenues. La représentation graphique de l'évolution des polluants est obtenue en compilant les heures communes aux trois jours de mesure. Nous tenons à souligner, que les valeurs de notre étude ne décrivent que les concentrations mesurées à notre position par rapport à la source d'émission, ces valeurs pourraient être plus ou moins élevées à une autre position.

➤ **Rond-point Casino Sahm- axe Avenue Cheikh Anta DIOP**

C'est certainement le site le plus fréquenté avec une fréquence approximative de 100 véhicules/10mn. C'est sur ce site que les mesures témoins ont été réalisées pendant deux jours fériés (MAGAL et GAMOU), ces mesures permettent de mettre en relief la relation entre le niveau de trafic et les concentrations des polluants dans l'air. Les concentrations des polluants sont plus élevées pendant les jours ordinaires (JO), comme indiqué sur le tableau II.

Tableau II : Moyennes horaires des concentrations CO, CO₂, PM₁₀ obtenues entre les jours fériés et jour ordinaire (JO)

	CO (ppm)			CO ₂ (ppm)			PM ₁₀ (mg/m ³)		
	Magal	Gamou	JO	Magal	Gamou	JO	Magal	Gamou	JO
8h-9h	1,124	0,397	2,438	491,198	485,785	528,802	0,135	0,124	0,274
9h-10h	1,719	0,736	3,308	484,298	482,355	531,000	0,186	0,129	0,303
10h-11h	1,727	1,140	2,100	476,818	486,777	511,473	0,108	0,130	0,233
11h-12h	2,273	1,132	2,783	483,636	495,579	509,750	0,131	0,143	0,175
12h-13h	2,645	1,455	2,981	495,579	496,281	500,111	0,155	0,114	0,192
13h-14h	1,974	1,802	2,961	482,087	490,537	497,931	0,097	0,101	0,115
14h-15h		1,455	2,683		480,248	496,125		0,072	0,133
15h-16h		1,735	1,908		485,752	485,780		0,115	0,097

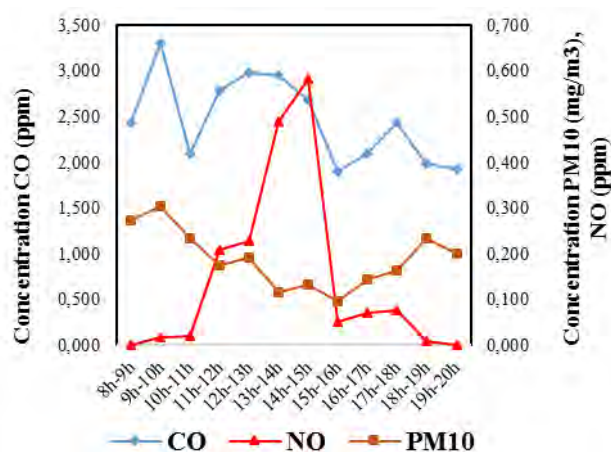


Figure 5 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, PM₁₀ au carrefour Sahm-axe avenue Cheikh Anta DIOP

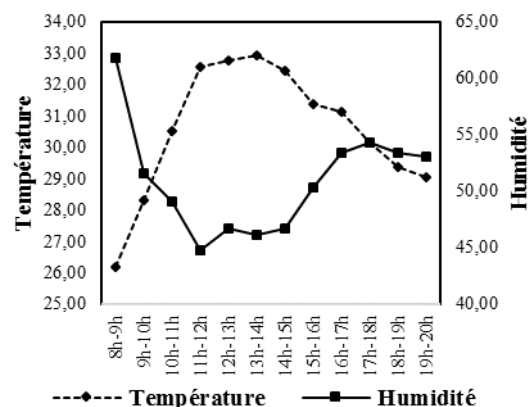


Figure 4 : Courbes des moyennes horaires des températures et humidité au carrefour Sahm-axe avenue Cheikh Anta DIOP

Les polluants indicateurs du trafic automobile (CO, NO) ont les variations similaires entre 11h-18h, et les plus fortes valeurs pendant les mesures sont obtenues entre (11h-15h). C'est la période pendant laquelle le flux de véhicule est le plus important, les valeurs de CO étant néanmoins plus grandes que celles du NO. Le CO enregistre deux augmentations des concentrations, dans la matinée (9h-10h) et dans la soirée (17h-18h).

Les variations des PM₁₀ sont eux différentes de celles du NO et du CO, les concentrations les plus importantes sont obtenues dans la matinée et dans la soirée avec deux pics caractéristiques (figure 4). Les valeurs maximales de température sur le site ne correspondent pas aux plus fortes moyennes des PM₁₀ (figure 5), un phénomène comme le vent pourrait expliquer les variations obtenues.

➤ Gare routière de Petersen

Les variations des polluants dépendent du flux des bus à proximité des appareils de même que du comportement des chauffeurs.

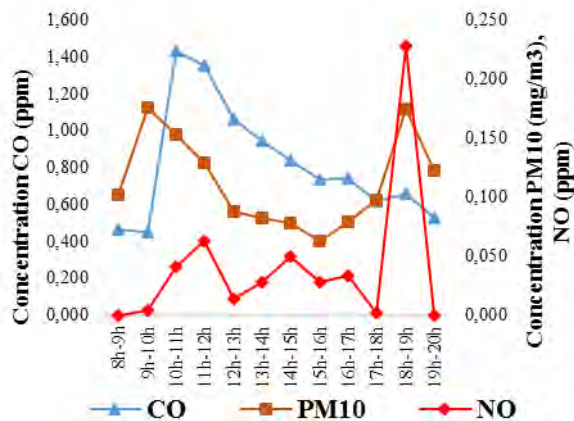


Figure 6 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, PM₁₀ à la gare routière de

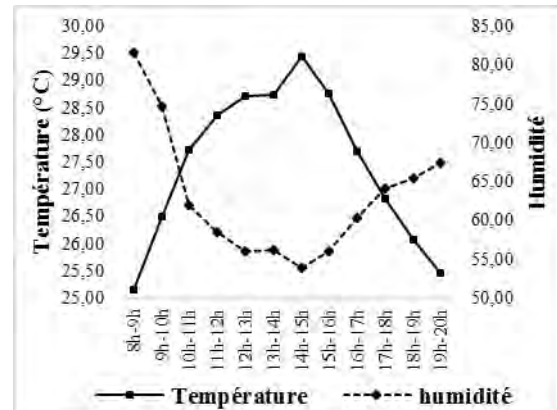


Figure 7 : Courbes des moyennes horaires des températures et humidité à la gare routière de Petersen

D'après la figure 6, le CO donne des concentrations élevées entre 10h-12h, puis les valeurs baissent dans la journée. L'une des fortes valeurs de CO obtenue dans la matinée ($1,427 \pm 2,539$) ppm, traduit un cas particulier d'émission, non continue dans la journée. Les Concentration de NO sont marquées par deux pics importants, dans la matinée (10h-12h) et dans la soirée (18h-19h), aux alentours de l'après-midi quelques pics moins importantes. Quant aux variations des PM₁₀, on pourrait dire qu'elles ressemblent à celles du NO avec deux pointes de moyennes dans la matinée et dans la soirée. Alors qu'ils décrivent des variations différentes, les zones de fortes températures ne correspondent pas aux zones de pointes de concentrations en de PM₁₀ (figure 7).

➤ La gare routière de Lat DIOR

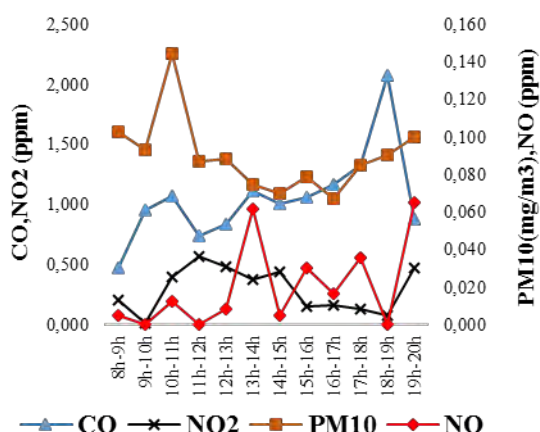


Figure 8 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, NO, NO₂, PM₁₀ à la gare routière de Lat DIOR

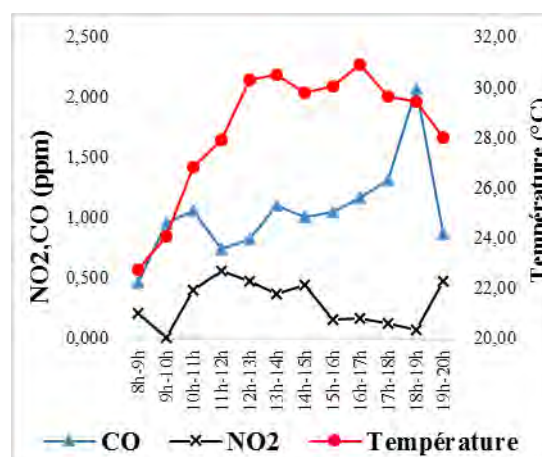


Figure 9 : Courbes des moyennes horaires du NO₂, du CO et la température à la gare routière de Lat DIOR

C'est la plus petite des gares routières, donc la plus encombrée, sur le site les variations des polluants sont hétérogènes. Les concentrations obtenues sont caractéristique du polluant et des conditions d'émissions.

Les Concentrations du CO augmentent dans la journée, avec deux valeurs importantes en matinée et dans la soirée. Les valeurs des PM₁₀ sont plus fortes dans matinée, avec un pic à 10h-11h, cette heure coïncide avec les pics obtenus pour le CO et NO dans la matinée.

Quant au NO il évolue en dent de scie, les concentrations les plus fortes sont enregistrées à 13h-14h puis à 19h-20h. Les variations des NO_x (NO et NO₂) semblent évoluer de façon indépendante, et les valeurs de NO₂ sont supérieures à la norme (OMS, UE, Sénégalaise) fixées pour 1 heure à 0,106 ppm, on note 10 dépassements. Les concentrations sont plus fortes entre 11h-13h, et plus faibles entre 15h-19h (figure 8)

Au vu de la figure 9, on peut supposer une relation entre les variations du NO₂ et celles du CO, l'augmentation de l'un des polluants coïncidant à la diminution de l'autre. La température semble influencer sur les concentrations obtenues du NO₂, pour les valeurs plus importantes de températures on a des concentrations plus faibles de ce polluant.

➤ Biscuiterie (Rue A)

La sensibilité des appareils ne nous permettait pas d'obtenir des valeurs de NO_x sur le site, ces polluants ne seront donc pas représentés graphiquement. Les températures sur le

site évoluent entre 20°C-25°C, avec les valeurs les plus fortes obtenues entre 13h-17h, les mesures sur ce site sont réalisées pendant la période la moins de chaude de l'étude.

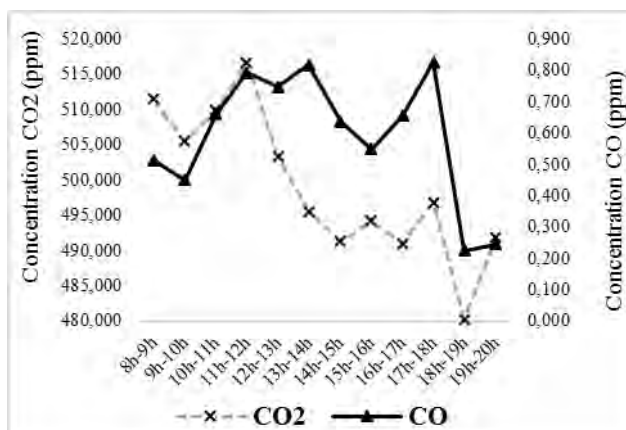


Figure 7 : Courbes des moyennes horaires des concentrations CO, CO₂, PM₁₀ à la Biscuiterie (rue A)

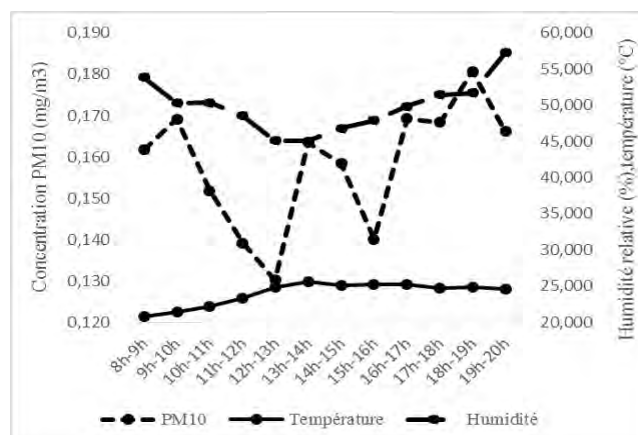


Figure 6 : Courbes des moyennes horaires des concentrations PM₁₀, température humidité à la Biscuiterie

La circulation automobile augmente avec le temps c'est une route à deux sens, ce qui veut dire que l'un des sens est plus fréquenté dans la matinée, et l'autre dans la soirée.

Le CO et le CO₂ évoluent similairement entre la matinée et la soirée, bien que les pics soient plus accentués pour le CO, on note deux pointes de concentrations dans l'après-midi et dans la soirée. Les valeurs de CO sont en deca des normes OMS/UE/Sénégalaise, pour une exposition sur 1h, 8h et 24h. La moyenne de CO₂ pour nos mesures est de (498,772±21,096) ppm du CO (0,647±0,933) ppm et des PM₁₀ (0,154±0,171) ppm.

➤ Les concentrations d'exposition

Tableau III : Concentration journalière entre 8h-20h des polluants mesurés

	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	PM ₁₀ (mg/m ³)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)
Rond-point casino Sahm	506,96 ±37,744	2,5±1,874	0,17 ±0,193	0,21±0,339	0,001±0,009
Gare routière Petersen	502,434 ±34,059	0,883± 1,273	0,100±0,179	0,036±0,206	0,0003±0,015
Gare routière Lat DIOR	492,382±32,776	1,286±9,489	0,083±0,104	0,020 ± 0,182	0,306±0,569
Biscuiterie	498,772±21,096	0,647±0,933	0,154±0,171	sous la limite de détection	

Le CO₂ n'est pas considéré dangereux en milieu extérieur pour la santé, dans la pollution extérieure, c'est l'un des principaux gaz à effet de serre, et n'est soumis aucune norme réglementaire d'exposition humaine.

Confère tableau I page 10 pour les normes et valeurs guides.

D'après les valeurs guides de l'OMS sur une durée d'exposition (1h, 8h) et les normes sénégalaises sur 24h, les valeurs de CO obtenues devraient être sans danger pour les populations locales particulièrement les commerçants en bordure de route.

Les valeurs guides de l'OMS et les normes Sénégalaises de PM₁₀ sont fixées respectivement à 50µg/m³ et 260µg/m³ pour 24h d'exposition, nos valeurs sur 12h de mesure sont inférieures à la norme Sénégalaises, mais bien au-delà des valeurs guides de l'OMS. Les populations exposées sur une longue durée, sont susceptibles de développer diverses pathologies respiratoires.

De même les valeurs de NO₂ supérieure aux valeurs guides de l'OMS et à la norme Sénégalaises, obtenue sur le site de Lat DIOR pourraient avoir des conséquences sur la santé des commerçant situés sur le site.

III-DISCUSSION

Sur un site les concentrations et les variations des polluants sont sous la dépendance des sources d'émission. Sur nos sites la principale source est le transport ou toutes combustions à proximité des appareils de mesure. IL y'a également d'autres éléments en prendre en compte lorsque nous souhaitons interpréter des divergences entre variation ou concentration de polluant. C'est le cas des réactions inter polluants qui ont lieu dans l'atmosphère, de la configuration du site, et aussi des conditions météorologiques.

➤ Le dioxyde carbone (CO₂)

Il n'est pas considéré comme un polluant en milieu urbain et ne fait l'objet d'aucune réglementation. C'est l'un des principaux gaz à effet de serre (GES), pendant notre étude il nous permet surtout de caractériser l'intensité du trafic :

- Entre les jours ordinaires et les jours fériés, les concentrations de ce gaz étant plus importantes pendant les jours normaux d'activités, et les moyennes horaires relativement supérieures à 500ppm seraient issues du transport
- Sur nos deux voies de circulation à l'avenue Cheikh Anta DIOP, à la biscuiterie (rue A),

➤ Le monoxyde de carbone (CO)

Les différentes mesures nous permettent d'attester que les variations du CO sont attribuables à la nature de la circulation automobile sur un site. Les sites étant hétérogène, le trafic automobile va donc varier d'un milieu à un autre, il en est de même pour les concentrations, on a des pics en matinée et/ou dans la soirée. Ces variations sont similaires à celles obtenues en France dans le Nord pas de Calais (**FOURNIER, 2007**), montrant que c'est pendant les déplacements des populations vers le travail en matinée, ou vers leurs domiciles dans la soirée que les concentrations sont élevées. C'est une situation également vérifiée à Marrakech au Maroc (**OUARZAZI et al, 2003**), les véhicules sont les principaux émetteurs de CO en absence d'industrie. Au niveau des axes routiers l'état de circulation a une influence évidente sur l'émission du polluant, en cas d'embouteillage ou de circulation ralenti on a une émission importante de CO comme c'est le cas au rond-point Casino Sahm entre 12h-15h. Cela est justifié par la relation existante entre la vitesse du véhicule et l'émission de CO, pour environ 20-40km/h on a une émission plus importante (**ASPA, 2002**).

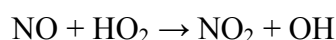
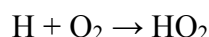
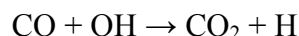
➤ Les oxydes d'azotes (NO_x)

La pollution de proximité automobile est caractérisée par les oxydes d'azote NO_x, au niveau du pot d'échappement le mélange des NO_x est de l'ordre de 90% de NO et 10% de NO₂ (AIRMARAIS, 2006), la mesure des NO_x concerne principalement le NO₂, qui est le polluant réglementé.

Dans l'air rapport NO/ NO₂ est un indicateur permettant donc de caractériser un site de mesures vis-à-vis du trafic, et de savoir si les concentrations de polluants qui leur sont associées sont influencées par la proximité du trafic. Lorsque NO > NO₂, l'influence du trafic est plus importante que lorsque NO₂ > NO (EMERY, 2012). Les concentrations de NO supérieures à celles de NO₂ sur les site 1 et 2 montrent que les variations obtenues sont liées au flux des véhicules et le comportement des automobilistes. Sur les documents que nous avons consulté les variations de NO donnent en générale un pic en matinée et dans la soirée en Alger (KERBACHI et al., 1998), à Dijon (EMERY, 2012). Le flux d'arrêt et de départ des *cars rapides* au bord de la route sur les sites 1 et le comportement des automobilistes (ronronnement des moteurs au démarrage ou en arrêt), sont des éléments qui agissent sur l'émission du NO. Au niveau des gares routières les variations du polluant dépendent du rythme de départ et d'arrivée des bus sur le site. La gare routière de Petersen plus grande, reçoit un nombre important de *bus TATA* et d'autres types de véhicules utilitaires, les concentrations sont importantes en matinée et en soirée. Pour des véhicules motorisés de grande taille (*bus TATA*) l'émission de NO_x est plus importante pour des vitesses autour de 10-20km/h (Sétra, 2009), c'est surtout au départ que l'émission augmente.

Les zones dont NO < NO₂, se définissent comme des stations de fond urbain, avec un NO majoritairement inférieur au NO₂ et moins caractéristique de l'influence du transport routier (EMERY, 2012). Cette situation est rencontrée sur le site de Lat DIOR, c'est la plus petit des gares routières situées à proximité du centre-ville. D'après le CGQA, la station de mesure située dans cette zone donne en général les plus fortes valeurs de NO₂ de Dakar (<http://www.air-dakar.org/bulletins/bulletins-annuels.html>), on estimait en 2015 qu'au centre-ville, le NO₂ provenait de toutes les directions avec des quantités plus importantes en provenance du nord-ouest et du sud (zone industrielle et port) (http://www.air-dakar.org/images/pdf/bulletins/rapport_annuel_2015.pdf). Le flux des bus de transport sur le site n'est donc pas, la seule cause des concentrations en NO₂ observé à Lat DIOR, de plus qu'on observe une relation entre CO et NO₂.

Les phénomènes chimiques expliquent aisément les variations observées entre CO et NO₂, qui évoluent de manière inverse, les concentrations croissantes de l'un correspondent aux concentrations décroissantes de l'autre. Dans l'air monoxyde de carbone (CO) réagit avec l'hydroxyle (OH), s'ensuit la formation de CO₂ et d'hydrogène (H), qui va rapidement réagir avec l'oxygène présent pour former un radical "peroxy" HO₂. Ce dernier va réagir avec le NO pour former du NO₂ (**Bruxelles Environnement, 2014**). Les équations de réaction, sont représenté comme ci-dessous.



(<http://rpn.univ-lorraine.fr/UVED/impacts-environnementaux-acv/oxydants-photochimiques/co/reaction.html>)

Ces réaction démontrent qu'une production accrue de NO₂ nécessitent une destruction importante de CO en présence du OH, ce qui justifie les variations inverses entre le CO et le NO₂ sur le site de Lat DIOR. Ces mécanismes ne sont pas les seules voies de formation du NO₂ à partir du NO, il y' a aussi des réactions d'oxydations dans l'air avec le O₃ et O₂.



La réaction 2 est sous la dépendance du rayonnement solaire, pour les températures les plus fortes, on a une transformation du NO₂ en O₃. Cette équation établie la relation entre la température et le NO₂, entre 14h-19h période de plus forte température sur notre site, on a les plus faibles valeurs du NO₂. Ces variations sont similaires à celles rencontrées dans de nombreuses villes comme à Dijon (**EMERY, 2012**), Cayenne (**ORA-Guyanne, 2016**) Grenoble (**Air Rhône-Alpes, 2016**) Marrakech (**OUARZAZI et al., 2003**) avec des pics importants en matinée et dans la soirée. Bien que non mesuré on peut conclure qu'il y'a une formation de O₃ sur ce site, car d'après les mesures réalisées en Algérie (**KERBACHI et al., 1998**) la présence de NO₂ implique la formation de O₃ lorsque les températures sont élevées.

➤ Les particules en suspension

Le trafic urbain pourrait expliquer les variations dans les concentrations des PM₁₀, un autre élément est à prendre en compte, comme le vent en provenance du Sahara qui est chargé de poussière. Ce vent serait l'une des causes principales des concentrations très importantes de PM₁₀ pendant la saison sèche (**DEMAY, 2011**)

Les variations des PM_{10} sur nos sites sont les plus hétérogènes, mais on enregistre sur 3/4 des sites deux pics (matin et soir), qui s'expliquent par le niveau de circulation automobile à ces heures. En plus du niveau de circulation, l'étroitesse des axes routier est un élément positif à l'augmentation de la pollution aux PM_{10} (Zhi et al ; 2006), ce qui justifie les valeurs pour ce polluant sur à la Biscuiterie (rue A étroite).

Nous pensons qu'en absence de vent, les fortes concentrations de PM_{10} observées aux mêmes heures que les grandes valeurs de CO et NO, sont issues du transport. Ainsi les variations des PM_{10} pour le site 1 (8h-11h, 16h-20h) site 2 (18h-20h) peuvent être attribuées aux transports. Ne disposant d'information sur le sens du vent ou sa vitesse, l'impact de ce paramètre n'a pas été étudié. Nous ne pouvons qu'émettre l'hypothèse qu'en absence de trafic routier intense, la présence de vent a une importance sur les concentrations et variations de ce polluant.

Quant à la température nous n'avons observé une relation solide entre ce paramètre et les concentrations de PM_{10} .

Un autre facteur comme la configuration du site de mesure a son importance sur la concentration du polluant. En observant la zone de la biscuiterie en zone sableuse, par rapport aux polluants indicateurs du trafic, on admet qu'en présence de vent, le sable joue un rôle sur les concentrations obtenues. D'après le rapport annuel du suivi de la qualité de l'air à Dakar CGQA de Dakar, les concentrations en PM_{10} pour les mois de Novembre et Décembre 2015, étaient plus importantes à Médina et au HLM.

CONCLUSION

Pendant notre étude nous avons mesuré les NO_x , les PM_{10} , le CO et le CO_2 , les concentrations et les variations obtenues sont majoritairement liées aux trafics routiers, à la configuration du site de mesure (axe routier, gare routière, centre-ville, zone sableuse..) et aux conditions météorologiques.

Les principaux polluants indicateurs du trafic (CO, NO) donnent les concentrations les plus importantes sur le site le plus fréquenté par les automobilistes. Au niveau des gares routières les polluants évoluent au gré des départs et des arrivées des bus.

Les valeurs du NO_2 s'expliquent par des concentrations élevées au centre-ville, qui a des répercussions au niveau de notre site. Les phénomènes chimiques dans lesquelles intervient le CO jouent un rôle important sur les variations obtenues à notre position, nous avons constaté une relation entre le NO_2 , et le CO. De plus Lorsque la température augmente les valeurs du NO_2 baissent, ce qui suggère des réactions photochimiques.

Les PM_{10} sont d'origines automobiles et aussi d'une grande part de phénomène naturels, Il est difficile de distinguer la part anthropique de celle naturelle, nous pouvons tout de même que retenir que le flux des transports, la configuration du site dans des conditions météorologiques défavorables aux déplacements des polluants peuvent conduire à des concentrations élevées. Nous n'avons pas pu établir une relation directe entre les niveaux de températures et les concentrations de PM_{10} , les mesures étant réalisées lors des températures voisines.

Concernant l'exposition humaine aux polluants, on note que les valeurs de CO n'ont pas dépassé les valeurs réglementaires (OMS/UE/Sénégal). Les valeurs des PM_{10} sur 12h de mesure étaient largement supérieures à celles réglementaires OMS/UE sur 24h fixé à $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, mais inférieures aux normes sénégalaises fixées à $260\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sur le site de Lat DIOR, pour lequel les concentrations en NO_2 sont les plus importantes nous avons eu 10 dépassements des valeurs normes de OMS/UE/Sénégalaise.

Pour une meilleure connaissance sur l'évolution des polluants atmosphériques dans ville de Dakar, nous recommandons :

- Qu'une étude plus longue soit effectuée afin de confirmer ou d'apporter des ajouts à nos conclusions,

- Il serait intéressant de réaliser une étude comparative entre les deux périodes de l'année où les températures sont les plus fortes et les moins fortes, en maîtrisant les conditions météorologiques.
- Aussi d'évaluer les concentrations de dioxyde de soufre et de benzène autour des stations d'essence, qui reçoivent un grand flux de véhicule.
- Pour ce qui concerne les populations exposées particulièrement les commerçants, nous suggérons qu'ils soient installés sur des zones éloignées de stationnements de véhicules.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. Consommation du carburant et des émissions de CO₂, Ministère de l'écologie du développement et de l'aménagement durables de la république française, 2002.
2. Agence National de la Statistique et de la Démographie. Situation Economique et Sociale du Sénégal en 2013 ; Février 2016
3. Air Rhône-Alpes (2016) Etude d'une zone surexposée aux nuisances environnementales sur l'agglomération grenobloise.
4. AIRMARAIS. Rapport d'étude CABRIES RD9, Aout 2006.
5. AIRPARIF Actualité. La pollution près du trafic. Numero 39-Décembre 2012.
6. AQ PRO Instruction & Operations Manual Version 1.05
7. Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA), pour le NO de Janvier 2002
8. Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace, Aout 2002.
9. Atmo AUVERGNE-RHONE-ALPES. Influence de la météo; <http://www.air-rhonealpes.fr/article/influence-de-la-meteo>; consulté le 15/01/2017
10. Atmo votre parten'air auvergne-Rhône-Alpes. Polluants surveillés ; <http://www.air-rhonealpes.fr/article/polluants-surveilles#COV>, consulté le 03/01/2017.
11. Atmopaca. Les émissions dues aux transports routiers. Note de synthèse réalisée dans le cadre d'un projet soutenu par la région paca et la cpa, avril 2007.
12. BAYE A. Prévalence de certaines affections respiratoires dans la région de Dakar : Corrélation avec le niveau de pollution atmosphérique. Pharmacie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Juillet 2012
13. BISSON. M - BUREAU. J - DEL GRATTA. F - LEFEVRE.J.P - LEVILAIN. A. oxydes d'azote NOx. i n e r i s - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; 2011
14. BONNARD N ; BRONDEAU M, CLAVEL, FALCY M, JARGOT D, SCHNEIDER O, SERRE P. Monoxyde de carbone Fiche toxicologique n°47. Inrs ; 2016

15. BRUXELLES ENVIRONNEMENT. Département état de l'environnement et indicateurs. Fiche méthodologique : Emissions de substances précurseurs d'ozone troposphérique (NOX, COV, CO ET CH₄).
http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/see1112_fm_coveq.pdf , consulté le 19/04/2017.
16. CACHON A. Etude de pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne : Cas de Cotonou (Bénin) : Caractérisation physicochimique des matières particulaires d'origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro. Chimie & toxicologie de L'environnement. Université du Littoral Côte d'Opale, 2013.
17. CAÏNI F. Etude de dispersion des polluants atmosphériques. AtmoFRance, 2011.
18. Centre de Gestion de la Qualité de l'Air ; stations, <http://www.air-dakar.org/stations.html>; consulté le 15/01/2017
19. Centre de Gestion de la Qualité de l'Air. Bulletin annuels. <http://www.air-dakar.org/bulletins/bulletins-annuels.html>, consulté le 12/05/2017.
20. DEBROCK Katrien, CHEYMOL Anne, VANDERSTRAETEN Peter. Observatoire des données de l'environnement, laboratoire pour la recherche en environnement, dep. plan air, climat et énergie. Les particules fines (pm10, pm2,5, pm1 et pm0,1), juillet 2009. Disponible sur
http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Air_23.PDF, consulté le 25/04/2017.
21. DEMAY C ; La pollution de l'air à Dakar ; Université de Bourgogne. Géographie Mention Climatologie, 2011.
22. DIAF N, BOUCHAOUR M, MERAD L et BENYOUCEF B. Paramètres Influençant la Dispersion des Polluants Gazeux. Laboratoire De Matériaux & Energies Renouvelables, Facultés Des Sciences, Université De Tlemcen ; 2003.
23. DIOP C, Etude toxicologique des particules atmosphériques d'origine automobile : données bibliographique. Pharmacie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Juillet 2007.
24. Disease Control and Prevention. The National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH ; <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2004-101/calc.html>; consulté le 29/01/2017

25. DOUMBIA T. Caractérisation physico-chimique de la pollution atmosphérique urbaine en Afrique de l'Ouest et étude d'impact sur la santé. Université de Toulouse, physique et chimie de l'atmosphère ; 2012
26. EMERY J, Analyse des concentrations en oxydes d'azote sur l'agglomération dijonnaise ; sciences humaines géographie et aménagement du territoire. Université de Bourgogne, 2012.
27. FOURNIER A. Le monoxyde de carbone caractéristiques, dispositif de surveillance et évolution des teneurs dans l'air ambiant. Air extérieur.
www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revues/AirPur/Airpur_70_Fournier.pdf
28. France volontaire. Présentation du Sénégal région par région.pdf. http://www.reseau-espaces-volontariats.org/documents/content/Senegal/Pays/presentation_regions.pdf
29. FRESNEL Boris A. Cachon. Etude de pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne : Cas de Cotonou (Benin) : Caractérisation physicochimique des matières particulières d'origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro. Chimie & Toxicologie DE L'Environnement. Université d'Abomey-Calavi, Benin, 2013)
30. GARCIA J, COLOSIO J. Les indices de qualité de l'air. Élaboration, usages et comparaisons internationales ; les presses de l'école des mines paris, 2001.
31. GERMAIN Gaston. Observatoire des Nuisances Aériennes. Bureau d'Etudes des Nuisances Aériennes, 2006
32. GNING I. Influence du niveau de la pollution atmosphérique sur la survenue de pathologies respiratoires chez les commerçants de Sandaga et les agents de sécurité de l'hôtel méridien président à Dakar. Pharmacie ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; 2011
33. GUEYE A. Analyse géospatiale de la pollution de l'air et des risques sanitaires à Dakar. Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; 2012.
34. <http://rpn.univ-lorraine.fr/UVED/impacts-environnementaux-acv/oxydants-photochimiques/co/reaction.html>, consulté le 19/05/2017
35. http://www.air-dakar.org/images/pdf/bulletins/rapport_annuel_2015.pdf, consulté le 23/04/2017.
36. IBGE-LRE : Rapport de la Qualité de l'Air 2006-2008. Disponible sur http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/STUD_2006-2008_QAir_RBC_Imm_8
37. IBGE-LRE : Rapport de la Qualité de l'Air 2009-2011, p 4.1

38. Isabella ANNESI-MAESANO, William DAB. Pollution atmosphérique et poumon Approche épidémiologiques. médecine/sciences 2006 ; 22 : 589-94
39. Journal Officiel de la République Française. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat. Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air.
40. KERBACHI R, BOUGHEDAOU M, KOUTAI N, LAKKI T. La pollution par les oxydes d'azotes et l'ozone à Alger, 1998.
41. Le poulx de la planète. les dossiers santé et environnement • Quels sont les principaux polluants de l'air, <http://www.lepoulxdelaplanete.com/dossier/quels-sont-les-principaux-polluants-de-lair/> consulté le 31/12/2016.
42. Mounia El Yamani Afsset, janvier 2006, rédacteur :
43. NAIDJA L, HOCINE Ali-Khodja, SALAH Khardi. Particulate matter from road traffic in Africa. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 2017, 7 (1), pp.389-304.
44. NDAW K. Pollution automobile et affection broncho-pulmonaires chez les agents de la circulation : cas des policiers. Pharmacie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; 2004
45. NDIAYE HM, TREMBLAY M. Le transport routier au Sénégal : problématique de la gestion des gares routières. Canadian Journal of Regional Science/Revue canadienne des sciences régionales, XXXII: 32009), p 495.
46. Note d'information du Sétra – Série Economie Environnement Conception n° 92. Émissions routières de polluants atmosphériques. Page 6, 2009.
47. Observatoire Régionale de l'Air de Guyanne, Campagne de mesure des émissions liées au trafic, Ref : 16-ELZA-GM, 2016.
48. OMS, Les expositions aux polluants de l'air des espaces clos et leurs effets sur la santé, Nordlingen, 8-11 juin 1982.
49. OMS, Qualité de l'air ambiant et santé (Aide-mémoire N°313 Septembre 2016); <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/>. consulté le 18/02/2017
50. OOUARZI J, TERHAZ M, ABDELLAOUI A, A BOUHAFID,V NOLLET, J-C DECHAUX. Etude descriptive de la mesure de polluants atmosphérique dans l'agglomération de Marrakech, pollution atmosphérique n° 177 - janvier-mars 2003, p. 143

51. ORA. La dispersion des polluants. <http://www.atmo-reunion.net/La-dispersion-des-polluants.html>; consulté 15/01/2017.
52. ORA. Les mesures par tube à échantillonnage passif. <http://www.atmo-reunion.net/Les-mesures-par-tube-a.html>; consulté le 18/01/2017
53. Organisation Mondiale de la Santé. Directives de la qualité de l'air Bruxellesenvironnement-ibge; collectionfiches documentées, thématique air. Page 1 sur 8 - janvier 2015.
54. OUARZAZI J, TERHZAZ M, ABDELLAOUI A, BOUHAFID A, NOLLET V, DECHAUX J-C. Etude descriptive de la mesure de polluants atmosphériques dans l'agglomération de Marrakech., 2003.
55. Paramètre influençant la pollution;
http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/intro/1_5.htm. Consulté le 07/02/2017
56. Safety Online.EVM Series Environmental Monitoring ;
<https://www.safetyonline.com/doc/evm-7-environmental-monitor-0002>; consulté le 24/01/2017.
57. TISSOT S - PICHARD A. Seuils de Toxicité Aiguë Dioxyde d'Azote (NO₂).INERIS ;
Unité d'Expertise des Substances Chimiques (ETSC) Direction des Risques Chroniques ; 2014
58. WADE C. S., TREMBLAY R., NDIAYE El H M., La gare routière et la ville à Dakar. Revue Perspectives & Sociétés, N°1, janvier 2010.
59. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Biscuiterie_\(Dakar\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biscuiterie_(Dakar)) , consulté le 10/07/2017
60. (Zhi Luo, Guanghua Wan, Chen Wang, Xun Zhang , Urban pollution and road infrastructure: A case study of China, *China Economic Review* (2016), doi: 10.1016/j.chieco.2017.04.008)