

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFTU	: Association pour le Financement du Transport Urbain
CETUD	: Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar
CO	: Monoxyde de Carbone
CO₂	: Dioxyde de Carbone
COV	: Composés Organiques Volatiles
CO_x	: Oxydes de Carbone
EMTASUD	: Enquêtes-Ménages sur la Mobilité, le Transport et l'Accès aux Services Urbains dans l'Agglomération de Dakar
GIE	: Groupement d'Intérêt Économique
NO	: Monoxyde d'Azote
NO₂	: Dioxyde d'Azote
NO_x	: Oxydes d'Azote
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PM	: Particulate Matter
VLEP	: Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Durée moyenne et écart type (en minutes) des trajets selon les lignes 22

Tableau II : Teneurs moyennes (\pm écarts types) des polluants mesurés lors de la campagne selon les lignes..... 23

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photo de l'EVM-7 (Quest)	17
Figure 2: Photo de l'AQ Pro	18
Figure 3 : Température et humidité relative suivant les lignes	22
Figure 4 : Concentrations moyennes par heure de CO	24
Figure 5 : Concentrations moyennes par heure des PM ₁₀	24
Figure 6 : Concentrations moyennes par heure de NO _x	25

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE : POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET TRAFIC ROUTIER ...	4
I°/ Pollution dans l’habitacle des automobiles	5
I.1°/ Modélisation et mise en œuvre	5
I.2°/ Types de polluant et conditions de formation	5
I.3°/ Sources de pollution dans les habitacles	7
I.3.1°/ Sources internes.....	7
I.3.2°/ Sources externes.....	7
II°/ Trafic routier et aspect du parc automobile à Dakar	8
II.1°/ Infrastructures routières	8
II.2°/ Analyse du parc automobile	9
II.3°/ Les compagnies de transport en commun.....	10
III°/ Polluants du trafic et effets sanitaires	11
DEUXIÈME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	14
I°/ Objectifs	15
II / Cadre d’étude	15
III°/ Échantillonnage des lignes	15

IV°/ Matériel et méthode	16
IV.1°/ Matériel	16
IV.2°/ Méthode.....	18
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	20
I°/ Résultats	21
I.1°/ Les lignes.....	21
I.2°/ Durée moyenne des trajets	21
I.3°/ Température et humidité relative	22
I.4°/ Concentrations des différents polluants	23
II°/ Discussion	26
CONCLUSION	31
BIBLIOGRAPHIE	33
ANNEXES	39

INTRODUCTION

Le développement économique, l'industrialisation et l'importance des moyens de transport définissent le nouveau visage des aires de concentration urbaine communément appelée « ville ». Depuis la fin du 19^{ème} siècle, on assiste à une démographie écrasante et à un élargissement considérable des périmètres des villes. Cette extension impose la mise en place de système de facilitation des transports des personnes et des biens. Ainsi se sont développés les réseaux de transports en commun (les minibus, les bus, les trames et les trains).

La ville étant aussi le siège de nombreuses activités industrielles, il en résulte une forte concentration de polluants environnementaux de diverses sources définissant une atmosphère saturée à la limite toxique.

Dans les pays en développement la pollution atmosphérique représente le plus grand problème de qualité de l'air. Selon l'OMS (Organisation mondiale de la santé), plus de 800000 personnes meurent prématurément chaque année à cause de la pollution atmosphérique et ces décès prématurés se produisent dans les zones urbaines des pays en développement. Une estimation utilisant les imageries satellitaires effectuée par Evans et al. en 2013 indique que la fraction globale de mortalité chez les adultes attribuables au PM_{2,5} est 8% pour les maladies cardiovasculaires, 12,8% pour cancer de poumon et de 9,4% pour les ischémies cardiaques (Evans et al., 2013). Les complications fréquemment rencontrées outre les atteintes cardiovasculaires et pulmonaires sont les atteintes sur la santé des enfants et sur le fœtus à savoir : les risques de pré-éclampsie, les accouchements prématurés etc. (Wuan et al, 2011 ; Gasana et al., 2012).

Les émissions véhiculaires constituent l'un des nombreux facteurs contribuant à la dégradation de la qualité de l'air dans les grandes métropoles et les grands centres urbains. Ainsi les véhicules à moteur contribuent à hauteur de 25 à 75 % à la pollution atmosphérique urbaine ; mais ce pourcentage reste fonction des polluants considérés et du lieu (PCFV, 2007). Les polluants souvent rencontrés sont le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrulés ou les composés organiques volatils (HC ou COV), les oxydes d'azote (NOx), les matières particulaires (PM) etc. et dépendent du type de carburant utilisé et de la conception du véhicule.

Ces polluants étant directement rejetés dans le trafic, l'environnement intérieur des véhicules se retrouve de ce fait directement pollué. En effet, les habitacles des automobiles sont des microenvironnements soumis à une pollution particulière dans lesquels nous passons de plus en plus de temps. Ainsi le micro-environnement à l'intérieur des véhicules contribue de

manière disproportionnelle à l'exposition aux polluants du trafic. D'après Dons et al. (2011) les expositions au monoxyde de carbone mesuré chez 62 sujets montrent que les expositions à l'intérieur des véhicules de transport dispose du plus grand taux (21%) comparé aux autres sources d'exposition pour à peu près 7% du temps journalier utilisé pour le transport (Hudda et Fruin, 2013).

Nombreuses sont les études qui ont été réalisées en Europe, en Amérique, en Asie et en Australie. Mais en Afrique, rares sont ces travaux qui visent la qualité de l'air respiré par les passagers dans les transports en commun. En Afrique de l'Ouest, cette étude est la première du genre à s'intéresser à la santé des utilisateurs des services de transports en commun.

Dakar, capitale du Sénégal avec 550 km² ne représente que 0,28% de la superficie totale du pays avec une population estimée à environ 3 000 000 d'habitants soit près du quart de la population totale sénégalaise. La densité de population est de 5704 habitants par km² selon l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD, 2015). Le développement socio-économique et culturel de Dakar est à une vitesse exponentielle depuis quelques années. Le domaine des transports ne reste pas indifférent à cette progression sans précédente. Les transports en commun (minibus TATA, Bus Dakar Dem Dik, les cars rapides et les Ndiaga Ndiaye) restent les moyens de déplacement privilégiés de la population dakaroise. De ces transports les minibus TATA disposent du plus grand taux d'utilisation (35%).

Avec le parc automobile vieillissant de la ville (56,5% des voitures vieilles de plus de 16 ans) et l'importance du trafic routier, il devient nécessaire d'évaluer le risque sanitaire en matière de qualité de l'air, que courent les passagers en passant des heures dans cet environnement pour leurs besoins quotidiens de déplacement. Ainsi notre étude se propose une analyse de la qualité de l'air à l'intérieur des minibus par une campagne de mesure des polluants réglementés tels que CO, NO₂ et PM₁₀.

Après quelques généralités sur la pollution de l'air liée au trafic routier dans une première partie, la deuxième partie abordera principalement l'étude expérimentale et la méthodologie. Quant à la troisième partie, elle sera consacrée à la présentation des principaux résultats de cette étude suivis des discussions.

PREMIÈRE PARTIE : POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET TRAFIC
ROUTIER

I°/ Pollution dans l'habitacle des automobiles

L'habitacle des automobiles et des autobus est souvent un réservoir de forte concentration de polluants environnementaux dont la plupart ont pour origine le trafic routier. On retrouve dans les véhicules automobiles tous les polluants habituellement rencontrés dans l'air urbain, ainsi que des polluants plus spécifiques des environnements confinés.

I.1°/ Modélisation et mise en œuvre

Différents auteurs ont utilisé plusieurs techniques afin de mettre en évidence l'état de pollution des habitacles automobiles.

Dans la majorité de ces études, un système de prélèvement ambulant (mesure embarquée) avec un laboratoire incorporé à l'intérieur de l'auto permettait de caractériser la pollution intérieure. Ce type de dispositif très pratique permet une évaluation en temps réel de la pollution le long de l'axe routier mais présente comme inconvénient les secousses qui peuvent endommager la sensibilité des capteurs incorporés dans les appareils (Marr et al., 2004 ; Goyal et al., 2013 ; Othoman et al., 2014).

Pour pallier à cette insuffisance, d'autres auteurs se sont permis de disposer de capteurs externes le long des axes routiers en des points sensibles indexés comme zone de forte pollution du trafic en comparaison avec d'autres zones dites moins polluées (les mesures de fond). Ce système proche des systèmes de disposition des centres de qualité de l'air ambiant présente comme avantage une caractérisation en continue durant une période de temps déterminée mais par contre ne donne qu'une mesure relative de la dispersion des polluants le long du trafic, et ne permet pas de ressortir une moyenne générale représentative de la pollution sur l'axe considéré et ne favorise pas des prises de décision effectives.

A cet effet, dans de nombreuses études actuelles, les auteurs n'ont pas hésité à coupler chacune de ces deux techniques de prélèvement. En plus du dispositif de mesurage à l'intérieur des autos par un mécanisme de prélèvement ambulatoire, un dispositif externe installé le long des axes considérés à des distances bien définies permettait de corréler les deux résultats. Ce système a l'extrême avantage de donner des résultats fiables, reproductibles et se montre plus efficace (Morin et al. 2009).

I.2°/ Types de polluant et conditions de formation

L'ensemble des polluants de la circulation automobile peut être retrouvé à l'intérieur des véhicules, des bus et des autobus. Les moteurs rejettent dans le trafic des oxydes de carbone

(COx), du dioxyde de soufre (SO₂), des particules fines, des hydrocarbures (Borie AL, 2006). En effet selon les conditions d'utilisation, le moteur peut rejeter dans le trafic quatre types de polluants majoritaires :

- **Le monoxyde de carbone (CO) :** gaz incolore, inodore mais toxique. Il se forme par combustion incomplète par exemple lorsque le mélange est temporairement trop riche ou à cause d'un filtre à air encrassé, d'un défaut de tarage des injecteurs, d'une surconsommation d'huile, sous une forte accélération ou lorsque la voiture roule en altitude.
- **Les oxydes d'azote (NOx) :** ils se forment lors du processus de combustion, au moment où le carburant brûle à des températures élevées. Parmi eux on retrouve l'oxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Le NO₂ est un gaz de couleur rouge, suffocant et toxique qui apparait lorsque le mélange est temporairement trop pauvre, par réaction de l'oxygène et de l'azote de l'air. Ses propriétés chimiques en font un précurseur de l'ozone, un autre gaz toxique.
- **Les hydrocarbures carbonés :** ils résultent de la combustion incomplète du carburant et de l'évaporation. Ils peuvent se combiner avec les oxydes d'azote sous l'action de la chaleur et des rayons solaires pour former l'ozone. Ce sont généralement des "grumeaux" microscopiques qui se forment lorsque le carburant est mélangé à l'air. Ces particules sont stoppées par le filtre à particules, si le véhicule en est muni. De nouveaux additifs incorporés aux carburants permettent de réduire ou de supprimer ce phénomène avec, comme corollaire, une baisse de la consommation.
- **Les particules en suspension (PM) :** ce sont des particules solides ou liquides présentes dans l'air. Certaines sont suffisamment grandes et sombres et peuvent être perçues comme de la suie ou de la fumée, tandis que d'autres sont fines, minuscules et ne sont généralement pas visibles à l'œil nu. Les émissions véhiculaires sont principalement composées de particules grossières (PM₁₀), fines (PM_{2,5}) et ultra-fines (PM de l'ordre de 0,1 µm ou moins). La plupart de ces particules proviennent du frottement et de l'usure de certaines pièces du moteur qui, au cours de sa vie, peut perdre ainsi plusieurs dizaines de grammes d'alliages divers (cylindres, segments, paliers, coussinets, soupapes, cames, portées d'arbre à cames, etc.). Elles sont normalement entraînées par l'huile de graissage et recueillies dans le filtre à huile, mais une partie est évacuée directement par les gaz d'échappement, en particulier si

l'étanchéité du moteur est défectueuse. Incolores et inodores, extrêmement fines et difficiles à détecter, ces micro-particules passent au travers du filtre à particules et restent en suspension dans l'air. Elles finissent au plus profond de nos poumons et sont soupçonnées d'être cancérogènes.

Outres ces polluants nous pouvons aussi rencontrer les oxydes de soufre (SOx) produits par l'oxydation du soufre ; l'ozone qui se forme lorsque les oxydes d'azote et les hydrocarbures réagissent à la chaleur et à la lumière solaire. D'autres sources de pollution comme les embrayages, les freins et l'usure des pneus sont aussi génératrices de polluants durant la vie du véhicule. (ADILCA, 2017).

I.3°/ Sources de pollution dans les habitacles

I.3.1°/ Sources internes

Il s'agit principalement de polluants provenant des matériaux de construction du véhicule et aussi des sources exogènes liées aux habitudes de l'utilisateur. En effet, le véhicule lui-même est source de polluant à travers les matériaux le composant. Pang et Mu (2007) ont attribué les concentrations de formaldéhyde trouvées dans un autobus récent aux émissions de ses matériaux de fabrication.

D'autres sources comportementales peuvent être mises en évidence comme l'ont montré les travaux de Lamorena et Lee (2008) qui ont évoqué l'influence de l'utilisation de désodorisant pour voiture sur la concentration en formaldéhyde dans les véhicules. En effet les réactions entre les COV biogéniques comme les monoterpènes émis par les déodorants et l'ozone, entraînent la génération de fines particules et de composés organiques dont le formaldéhyde. Cette influence des déodorants et des produits d'entretien du véhicule a été également mise en évidence dans les études de Fedoruk et Kerger (2003) comme étant une source prédominante des COV recensés dans un véhicule.

I.3.2°/ Sources externes

L'air à l'intérieur des automobiles est constamment influencé par les conditions météorologiques environnantes. Des études ont montré une relation linéaire entre le renouvellement de l'air intérieur, l'ouverture ou la fermeture des vitres, la vitesse de circulation et la ventilation (Ott et al. 2007 ; Fruin et al. 2011). En effet plus la vitesse du véhicule est élevée, plus l'air intérieur est continuellement renouvelé; plus les vitres sont ouvertes plus on aura un échange important entre l'intérieur et l'extérieur du véhicule et ces

échant d'air vont influencer les niveaux de concentration des polluants dans l'habitacle. Ainsi dans les études de Mexico City conduites par Shiolara et al. (2005) les microbus dont les fenêtres sont toujours ouvertes, montrent des concentrations de polluant bien plus élevées que les bus et voitures dont les fenêtres sont généralement fermées.

Par ailleurs, les échanges d'air entre l'habitacle et le milieu extérieur du véhicule peuvent également se produire lors de l'ouverture et la fermeture des portières, lors de la ventilation (air conditionné) ou encore de manière diffuse (Ott et al., 2008).

Ces échanges d'air peuvent avoir deux principales conséquences :

- L'intrusion de polluants atmosphériques dans l'habitacle de l'autobus : La météorologie locale et la photochimie, qui modifiant les concentrations atmosphériques de certains polluants ont été souvent les raisons évoquées par certains auteurs pour justifier les concentrations de certains polluants mesurés dans l'habitacle des bus et autobus (Hanoune, 2008).
- L'influence des dégagements des véhicules environnants : Elle dépend en partie de la distance séparant les deux véhicules, du type de carburant utilisé par le véhicule suivi.

En outre les travaux de Sabin et al. (2005) ont révélé la possibilité d'une auto-pollution des véhicules. En effet les gaz d'échappement des bus et microbus peuvent directement être réinjectés à l'intérieur en augmentant ainsi les concentrations de polluant. Même si les mécanismes de cette auto-pollution font encore objet de discussion dans la littérature, le sens et la force du vent pourraient avoir une part indéniable dans ce phénomène. A ceci il faut ajouter la remise en suspension de poussière par les autres véhicules du voisinage (surtout ceux situés devant) qui peuvent entrer dans le bus et influencer les niveaux de polluants existants (Amato et al., 2011a ; Pant et Harrison, 2013 ; Denier van der Gon et al., 2013).

II°/ Trafic routier et aspect du parc automobile à Dakar

II.1°/ Infrastructures routières

Depuis quelques années le Sénégal s'est engagé dans un processus de modernisation de son réseau routier. Depuis 2002, les enquêtes ont montré :

- Une croissance du trafic soutenue, de l'ordre de 6% par an ou plus,
- Une forte concentration géographique du trafic sur une surface réduite dans les régions de Dakar et Thiès,
- La prépondérance des modes de transport en commun dans le trafic passager,

- La domination écrasante de la route dans les transports intérieurs (plus de 95% pour le fret, plus de 99% pour le transport de passager) (Fabrice Bertholet et al., 2004).

Grâce aux différents plans de développement mis en place depuis quelques années, le réseau routier s'est considérablement amélioré assurant la fluidité des transports des personnes et des biens et favorisant les échanges. Dans la région de Dakar, plusieurs nouveaux axes routiers ont été construits ou améliorés.

II.2°/ Analyse du parc automobile

A l'amélioration du réseau routier suit une augmentation du parc automobile même si la tendance n'est pas trop au renouvellement du parc malgré les efforts effectués ; d'autres facteurs sont à considérer comme l'augmentation de l'âge des véhicules importés qui est passé de 5 ans à 8 ans. Cette augmentation a provoqué une flambée des véhicules importés et du nombre de véhicules circulant depuis les années 2012. Selon les enquêtes le parc automobile immatriculé du Sénégal est estimé à 401 000 véhicules, toutes séries confondues : séries normales, séries de l'administration, séries des transits temporaires, du corps diplomatique, de l'armée, etc. 72,76 % de ce parc national (soit 292 428 véhicules), circule dans la capitale Dakar (AllAfrica, 2015).

Cependant la vétusté du parc automobile pose un énorme problème à la fois sanitaire, environnemental et sécuritaire. Équipé de vieux moteurs rejetant des gaz toxiques et plein de polluants, ces véhicules déversent dans la nature des milliers de mètre cube de déchets par jour, ayant des effets délétères sur la santé humaine, l'environnement et aussi source de nombreux accidents qu'on leur impute. D'après la Direction des transports terrestres, les voitures de 16 ans et plus représentent 56,5% du parc automobile tandis que les véhicules de 11 à 15 ans constituent quant à eux 10,2% et ceux qui ont entre 6 et 10 ans sont de 18,9%. Les voitures « neuves », c'est-à-dire celles qui ont été mises en circulation durant les 5 dernières années, quant à elles, ne correspondent qu'à 14,4% du total du parc (Dakar7 l'info 7/7, 2016).

La répartition par type de véhicule se présente comme suit :

- Véhicules Particuliers 38%
- Taxi interurbain 17%
- Camionnette/passagers 10%
- Camionnette/marchandises 8%
- Car et autocar 10%

- Camion 2 essieux 6%
- Camion 2 essieux 4%
- Ensemble articulé 6% (Fabrice Bertholet et al., 2004).

En 2015, on compte à Dakar, une voiture particulière pour 40 habitants. Pour les véhicules motorisés on disposait de :

- 256 véhicules pour 1000 ménages
- 40 véhicules pour 1000 habitants (20 en 2000)

Et pour les voitures particulières on avait :

- 169 véhicules pour 1000 ménages
- 25 véhicules pour 1000 habitants (17 en 2000)

II.3°/ Les compagnies de transport en commun

D'après les rapports du Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar (CETUD) et les enquêtes-ménages sur la mobilité, le transport et l'accès aux services urbains dans l'agglomération de Dakar (EMTASUD 2015) sous la tutelle du Ministère des Transports, les transports publics (collectifs) représentent 80% des déplacements motorisés avec 35% des déplacements assurés par les GIE AFTU, 20% par les cars rapides, 12% par les clandos, 10,5% par les taxis, 6% par les Dakar Dem Dik et enfin 4% par les "Ndiaga Ndiaye".

- **Dakar Dem Dik**

Dakar Dem Dik est une société de capitaux dont les actions sont réparties entre l'État (76,6 %) et des investisseurs privés sénégalais. Elle a repris les actifs de la SOTRAC, et est entrée en exploitation en 2001. Elle détient le monopole d'exploitation des bus de plus de 50 places à Dakar et exploite 24 lignes publiques (12 urbaines, 12 périphériques) et 14 lignes scolaires. Sa fréquentation moyenne est de 3000 voyages urbains et de 3300 périurbains avec une vitesse moyenne de 15 km/h, un intervalle moyen de 15 minutes et une capacité moyenne de 90 places (Ndiaye et Tremblay, 2009 ; SSATP No.11).

- **Le réseau de bus AFTU (Association de Financement des Transports Urbains)**

Détenteur des minibus blancs de marque TATA, ce réseau de bus AFTU est créé en 1999 et regroupe les GIE pour la mise en commun des véhicules.

En effet avec la disparition de la SOTRAC qui a entraîné une forte augmentation du nombre des cars rapides et Ndiaga Ndiaye (de quelques centaines à plus de 3000 véhicules), l'État

s'est engagé dans un processus de renouvellement du parc automobile afin d'améliorer le confort, d'assurer la fluidité des transports et de faciliter le déplacement des personnes et des biens. Ainsi en 2006 on a assisté à la mise en service de 1444 véhicules neufs exploitant 60 lignes à ce jour.

Ce réseau a une fréquentation moyenne de 7750 voyages AFTU-Urbains et de 6150 voyages AFTU-Périurbains avec une vitesse moyenne de 15 km/h, un intervalle moyen de 15 minutes et une capacité moyenne de 43 places (Ndiaye et Tremblay, 2009 ; SSATP No.11).

- **Les Cars rapides et Ndiaga Ndiaye**

Anciens camions commerciaux transformés en minibus, ils assurent une grande partie des déplacements dans les banlieues de Dakar. Ils sont redoutés pour les déplacements de courte distance à moindre coût avec une prééminence des questions de sécurité (vols, agressions), de pollution, de confort, de contribution à la congestion du réseau routier pour cette catégorie de véhicules. Cette offre artisanale de transport est entrain de basculer progressivement vers l'AFTU avec le renouvellement du parc (Ndiaye et Tremblay, 2009 ; SSATP No.11).

- **Les Taxis et les « Taxis clandestos »**

Généralement de couleur jaune-noir, les licences de Taxis existaient depuis 1967. Ce mode de transport n'a pas de points fixes de stationnement, circulation à vide pour 30% aux heures creuses impactant la fluidité du trafic automobile.

Quant aux « Taxis clandestos » ce sont des collectifs légalisés en 1979 desservant principalement Pikine, Guédiawaye, Rufisque, Parcelles Assainies et autres artères du centre urbain dakarois. Ce sont des taxis clandestins circulant sans licence dont le fonctionnement est proche de celui des cars rapides avec points d'arrêt identifiés et tarif généralement fixes (CETUD, 2015).

III°/ Polluants du trafic et effets sanitaires

Différentes études menées depuis la seconde moitié du 21^{ème} ont mis en exergue les effets délétères des polluants sur la santé humaine.

- **Les particules (PM₁₀, PM_{2,5} et PM_{0,1}) :**

Plusieurs études épidémiologiques ont abouti à la conclusion que l'inhalation des PM (*particulate matter*) ambiantes qui peuvent pénétrer dans les bronchioles et jusqu'à l'interface alvéolaire des poumons, pourrait conduire à une mort prématurée et contribuer à l'aggravation des maladies respiratoires et cardiovasculaires (Brunekreef et Holgate 2002). Ces études ont

montré le lien de causalité entre les augmentations des admissions dans les hôpitaux et des visites aux urgences, l'absentéisme dans les écoles, le nombre de jours de travail perdus et de jours d'inactivité, et les épisodes de fortes concentrations atmosphériques des PM. D'autres études plus récentes ont fait état de morbidité et de mortalité par atteinte respiratoire ou cardiovasculaire associées aux polluants du trafic incluant l'exacerbation de l'incidence des asthmes, les hospitalisations et décès dus aux infarctus du myocarde (Hoek et al., 2002 ; Jerett et al., 2008 ; Tonne et al., 2009). Les PM dégagées par les gaz d'échappement des moteurs diesel sont d'autant plus inquiétantes qu'elles sont associées à un risque plus élevé de cancer du poumon. A court terme, ces polluants peuvent entraîner des effets aigus comme le stress oxydatif dans les voies respiratoires (Laumbach et Kipen, 2010). Les valeurs guides de l'OMS pour les PM_{2,5} sont de 10 µg/m³ en moyenne annuelle et de 25 µg/m³ en moyenne par jour ; pour les PM₁₀ elles sont de 20 µg/m³ en moyenne annuelle et de 50µg/m³ en moyenne par jour.

- **Le dioxyde d'azote :**

Les effets pathologiques de NO₂ ont été mis en évidence dans des circonstances accidentelles de travail. Exposés à des concentrations de 10 mg/m³ de NO₂, des travailleurs ont présenté des troubles respiratoires très marqués mais transitoires ; ces troubles disparaissent après arrêt de l'exposition. Pour des expositions prolongées à des concentrations supérieures à 100 mg/m³ de NO₂, on observe des irritations pulmonaires et une diminution persistante de la fonction respiratoire. Ce gaz toxique entraîne une inflammation importante des voies respiratoires à des concentrations dépassant 200 µg/m³, sur de courtes durées. D'après des études épidémiologiques le NO₂ est aussi responsable des crises d'asthme et des bronchites. Les valeurs guides de l'OMS pour le dioxyde d'azote NO₂ sont de 40 µg/m³ en moyenne par an et de 200 µg/m³ en moyenne par heure (PCFV, 2007).

- **Le monoxyde de carbone (CO) :**

Le monoxyde de carbone se fixe à l'hémoglobine dans le sang en passant par les poumons et réduit l'apport d'oxygène aux organes et aux tissus du corps humain. La menace du CO sur la santé est encore plus sérieuse pour ceux qui souffrent de maladies cardiovasculaires, en particulier ceux atteints d'angine de poitrine ou de maladie vasculaire périphérique. Les individus en bonne santé sont également affectés, mais seulement lorsque les niveaux de CO sont plus élevés. L'exposition à des niveaux élevés de CO est associée à l'affaiblissement de la perception visuelle, de la capacité de travail, de la dextérité, de la capacité à étudier et de

l'exécution de tâches complexes. A des concentrations suffisantes, l'empoisonnement au CO peut causer la mort. Les valeurs guides définies par l'OMS pour le CO est de 10 mg/m³ sur 8 heures et 30 mg/m³ sur 1 heure (PCFV, 2007).

DEUXIÈME PARTIE : ETUDE EXPÉRIMENTALE

I°/ Objectifs

Conscient des effets notoires que peuvent avoir les polluants du trafic sur la santé des passagers, celle des conducteurs et des receveurs des bus, notre étude s'est fixé comme objectif de déterminer les niveaux de polluants rencontrés dans les minibus de Dakar. Il s'agira plus spécifiquement de :

- Déterminer les durées moyennes d'exposition sur le trajet des bus ;
- D'identifier les concentrations des NO₂, NO, NO_x, CO, CO₂ et PM₁₀;
- De comparer les niveaux de pollution aux normes.

II / Cadre d'étude

Notre campagne de mesure de la qualité de l'air dans les transports en commun s'est tenue à Dakar du 11 Novembre au 31 Décembre 2016. Les études antérieures ont montré que la majorité des déplacements interurbains ont lieu en semaine durant les jours ouvrables (EMTASUD, 2015). A cet effet notre étude a couvert les cinq (05) jours ouvrables (Lundi – Vendredi) des mois de Novembre à Décembre. Cette période coïncide à peu près avec la période des grands vents et poussières à Dakar. La fin du mois de Décembre est surtout marquée par l'arrivée du courant marin froid et la montée de la fraîcheur.

III°/ Échantillonnage des lignes

D'après les enquêtes EMTASUD de 2015, 80% des déplacements interurbains sont assurés par les transports publics (collectifs) dont 35 % assurés par les GIE AFTU (EMTASUD, 2015). De ce fait notre étude s'est focalisée sur le mode de transport en commun le plus utilisé à savoir les TATA gérés par les GIE AFTU.

Afin d'obtenir une représentativité de notre échantillon, nous avons effectué un échantillonnage à deux degrés :

- Un échantillonnage en grappe qui nous a permis de sélectionner parmi les garages de bus de Dakar. Ainsi trois principaux garages ont été retenus :
 - Le garage de Sahm : Ce garage dispose de 4 lignes de bus assurant la liaison entre Dakar et sa banlieue et d'une vingtaine de bus. Ce garage situé au carrefour des axes de Gueule Tapée – Médina – Fass et de la VDN – Sandaga, a la particularité d'accueillir une multitude de lignes secondaires assurant de courts trajets conduits par les Cars Rapides et les Ndiaga Ndiaye mais aussi des arrêts pour d'autres bus comme les Dakar Dem Dik.

- Le garage de Pétersen : situé en plein centre ville à proximité du grand marché de Sandaga, ce garage est constitué d'une vingtaine de ligne de bus et plus d'une centaine de bus. Plusieurs autres lignes de minibus Ndiaga Ndiaye, desservent les liaisons entre Dakar, sa banlieue et même l'intérieur du pays.
- Enfin le garage de Lat Dior, non loin du garage de Pétersen, est aussi situé à proximité du marché Sandaga. Il est constitué d'une quinzaine de ligne de bus et d'une cinquantaine de bus qui assurent les différentes liaisons. Notons qu'à ce niveau aussi plusieurs autres lignes subsidiaires de minibus Ndiaga Ndiaye desservent quelques trajets menant vers les quartiers périphériques du centre ville.
- Un second sondage aléatoire a été effectué au niveau de chaque garage pour sélectionner trois (03) lignes de bus sur lesquelles ont porté notre campagne de mesure.
- Ensuite au niveau de chaque ligne sélectionnée nous avons effectué trois (03) voyages aller-retour. Une mesure aller-retour les matins entre 9h00 et 11h00, deux mesures les soirs de 15h00 à 20h00.

A chaque voyage un tableau de bord permettait de recenser tout évènement marquant sur le trajet comme les embouteillages, les accidents, les surcharges de passager etc.

IV°/ Matériel et méthode

IV.1°/ Matériel

Le matériel utilisé dans le cadre de notre étude est constitué de deux appareils : l'EVM-7 et l'AQ Pro.

- L'EVM-7 version 1.05 de Quest Technology permet la mesure du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), des particules fines (PM), des composés organiques volatils (COV), de la température, de l'humidité relative et du point de rosée. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'étude des CO et des PM₁₀ du fait de la plus grande sensibilité de notre appareil à mesurer ces polluants (Figure 1).



Figure 1: Photo de l'EVM-7 (Quest)

La mesure des particules est faite grâce à un impacteur rotatif situé en haut de l'appareil. Il est possible de régler la taille des particules filtrées. Dans notre étude nous avons choisi une taille de 10 microns ainsi nous avons pu mesurer les PM_{10} mais en même temps les $PM_{2,5}$ et toutes les particules de taille inférieure.

Une fois le diamètre des particules sélectionné, l'appareil collecte en temps réel les aérosols/poussières en utilisant un photomètre de diffusion optique de 90° pour déterminer la masse totale (en mg / m^3) de matière particulaire. Un échantillonnage gravimétrique est aussi utilisé pour déterminer la taille des particules. Il s'agit d'un procédé de filtrage dans lequel les particules sont collectées et filtrées dans la cassette gravimétrique, ensuite la poussière passe à travers le moteur optique de l'appareil. A la fin de l'expérience, la cassette gravimétrique peut être récupérée et analysée au laboratoire.

Une pompe est utilisée dans le procédé d'échantillonnage de particules comme source d'air de sorte que les particules sont aspirées et collectées pour la mesure. Le débit est de 1,67 Litre par minute.

La mesure des gaz quant à elle se fait par des capteurs incorporés permettant de mesurer les niveaux réels de CO , CO_2 et des composés organiques volatiles dans l'air aspiré par les pompes (3M Personal Safety Division User Manual 3M).

- L'AQ Pro quant à lui sert à mesurer les niveaux d'oxyde d'azote (NO), du dioxyde d'azote (NO₂), de la température, de l'humidité relative et du point de rosée (Figure 2).



Figure 2: Photo de l'AQ Pro

La mesure des concentrations des différents gaz dans l'air ambiant est faite grâce à des capteurs électrochimiques pour le NO et le NO₂. Il s'agit d'un capteur à trois électrodes qui répond au dioxyde d'azote gazeux. Le dioxyde d'azote est un gaz "collant" et la réponse de ce capteur est habituellement la plus lente de tous les capteurs. Par contre la mesure des paramètres non gazeux comme la température et l'humidité est effectuée par des capteurs électriques solides localisés en bas de l'appareil (AQ PRO Instruction & Operations Manual Version 1.05).

IV.2°/ Méthode

Nous avons effectué une campagne de mesure embarquée, chacun de nos deux appareils est allumé quelques minutes avant le démarrage du bus. Nous vérifions les différents paramètres comme l'heure, les unités de mesure, la mémoire de stockage des données etc. Ensuite nous déclençons la collecte des données au démarrage du bus et ce jusqu'à l'arrivée au terminus du bus considéré. Nos deux appareils sont posés devant sur le côté opposé au côté chauffeur.

La température et l'humidité relative sont mesurées au niveau de chaque appareil mais par contre l'heure est à la fois mesurée par les appareils et notée sur un tableau de bord afin de faire coïncider les événements notés aux pics constatés des différents polluants. Les techniciens disposaient d'un tableau de bord qui permettait de décrire les différents événements présents sur le trajet et l'heure où ces événements ont été observés.

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

I°/ Résultats

I.1°/ Les lignes

Au total neuf (09) lignes de bus ont été échantillonnées et ont participé à la campagne de mesure.

Au niveau du garage de Sahm, nous avons enquêté les lignes 31, 38 et 58 dont les points de chutes sont respectivement Pikine Texaco, Guediawaye et Fass Mbao ; à Pétersen nous avons fait des mesures sur les lignes 5, 25 et 29. Les lignes 5 et 25 ont leur terminus aux Parcelles Assainies tandis que la 29 achève sa course à Cambérène 2. Enfin au dernier garage, celui de Lat Dior, nos prélèvements ont porté sur les lignes 1, 34 et 47. Ces lignes finissent leur trajet successivement aux HLM Grand Yoff, Nord Foire et aux Almadies. L'ensemble des lignes échantillonnées ont participé à notre campagne soit 100% de participation.

Sur chaque ligne de bus, conformément au protocole, trois (03) voyages aller-retour ont été effectués dont une mesure de matin et deux mesures du soir. Sur l'ensemble des neufs (09) lignes, les six (06) voyages ont été effectués à l'exception de la 38 sur laquelle un voyage retour du soir a manqué à cause de l'arrêt momentané du service par le chauffeur.

Il est arrivé trois fois de constater lors des mesures du soir que les chauffeurs arrêtent leur service en des endroits différents du garage ou du terminus. Ceci du fait que leurs heures de service sont épuisées ou qu'ils estiment inutiles de continuer le trajet quand bien même il ya des passagers pour des raisons diverses. Ainsi sur les 53 voyages effectués, 03 voyages étaient inachevés soit 94,34% de trajet entier accompli.

I.2°/ Durée moyenne des trajets

La durée moyenne du trajet (en minute) entre garage et terminus des lignes de bus se présente comme suit (Tableau I) :

Tableau I : Durée moyenne et écart type (en minutes) des trajets selon les lignes

Numéro des LIGNES	DUREE (en minute)
1	87 ± 8
5	74 ± 10
25	63 ± 15
29	92 ± 12
31	72 ± 10
34	80 ± 14
38	87 ± 14
47	123 ± 11
58	75 ± 10

Les durées sont en moyenne supérieures à une heure de temps. La ligne 25 a la durée la plus faible (63±15 minutes) et la ligne 47 est la plus longue (123±11 minutes).

I.3°/ Température et humidité relative

Les données de température et d'humidité relative durant la campagne suivant les lignes se présentent selon la figure ci-dessous :

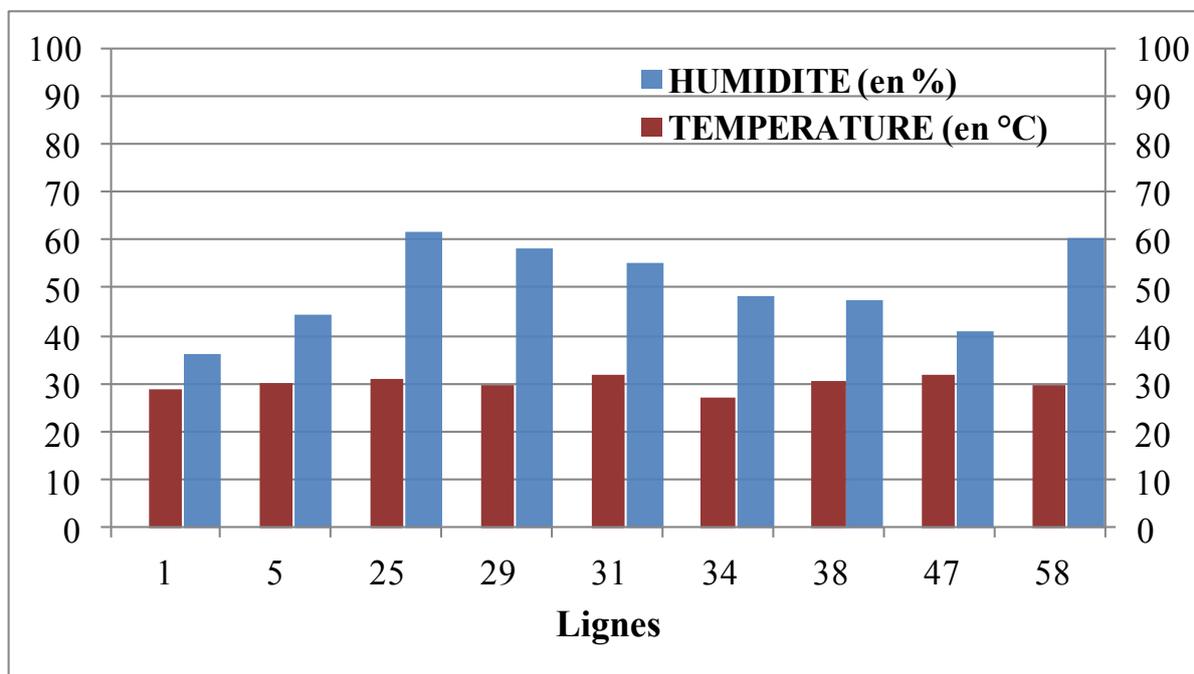


Figure 3 : Température et humidité relative suivant les lignes

Au cours de la campagne, les températures ont varié de 27°C à 32°C avec une valeur moyenne de 30±1,5 °C. Les données d'humidité relative ont été de 36 à 61,5% avec une moyenne de 50,2±9%.

I.4°/ Concentrations des différents polluants

Le tableau suivant présente les teneurs des polluants mesurés au cours de la campagne de mesure.

Tableau II : Teneurs moyennes (± écarts types) des polluants mesurés lors de la campagne selon les lignes

LIGNES	CO (mg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	NO (µg/m ³)	NO2 (µg/m ³)	NOx (µg/m ³)
1	2,9 ± 0,93	407 ± 67,65	26,13 ± 35,62	6,25 ± 15,31	32,38 ± 36
5	3,6 ± 1,14	281 ± 32,18	628,38 ± 506,48	4,76 ± 11,67	633,14 ± 513,18
25	3,3 ± 0,74	297 ± 81,30	45,33 ± 26,68	7,78 ± 17,39	53,11 ± 31,57
29	2,9 ± 0,93	285,5 ± 54,58	135,61 ± 181,33	21,67 ± 53,07	157,27 ± 232,65
31	4,5 ± 1	295 ± 75,24	646,69 ± 543,90	0 ± 0	646,69 ± 543,9
34	2,9 ± 1	265,8 ± 30,04	42,28 ± 78,08	5,56 ± 13,61	47,83 ± 78,03
38	5,4 ± 0	450 ± 104,14	124,2 ± 117,25	7,58 ± 16,9	146,66 ± 99,30
47	5,1 ± 0,73	415 ± 66,39	768,91 ± 556,80	50,45 ± 84	819,36 ± 508,94
58	3,3 ± 0,78	231,5 ± 28,13	59,73 ± 51,06	5,81 ± 9,68	65,54 ± 52,84
Moyenne	3,79 ± 0,53	325,31 ± 77,36	275,25 ± 309,10	12,20 ± 15,49	289,11 ± 315,21

Les concentrations de CO au cours de la campagne de mesure ont été de 2,9 à 5,4 mg/m³ avec une moyenne de 3,79±0,53 mg/m³.

Pour les PM₁₀ on note une valeur minimale de 231,5 µg/m³, une valeur maximale de 450 µg/m³ et une moyenne de 325,31±77,36 µg/m³.

Quant au NO₂, les valeurs ont varié de 0 à 50,45 µg/m³ avec une moyenne de 12,20±15,49 µg/m³.

La teneur moyenne de CO₂ enregistré était de 654,66±50 ppm avec une valeur minimale de 615,5 ppm et une valeur maximale de 761,8 ppm.

La figure ci-après présente les concentrations de CO par heure selon les lignes.

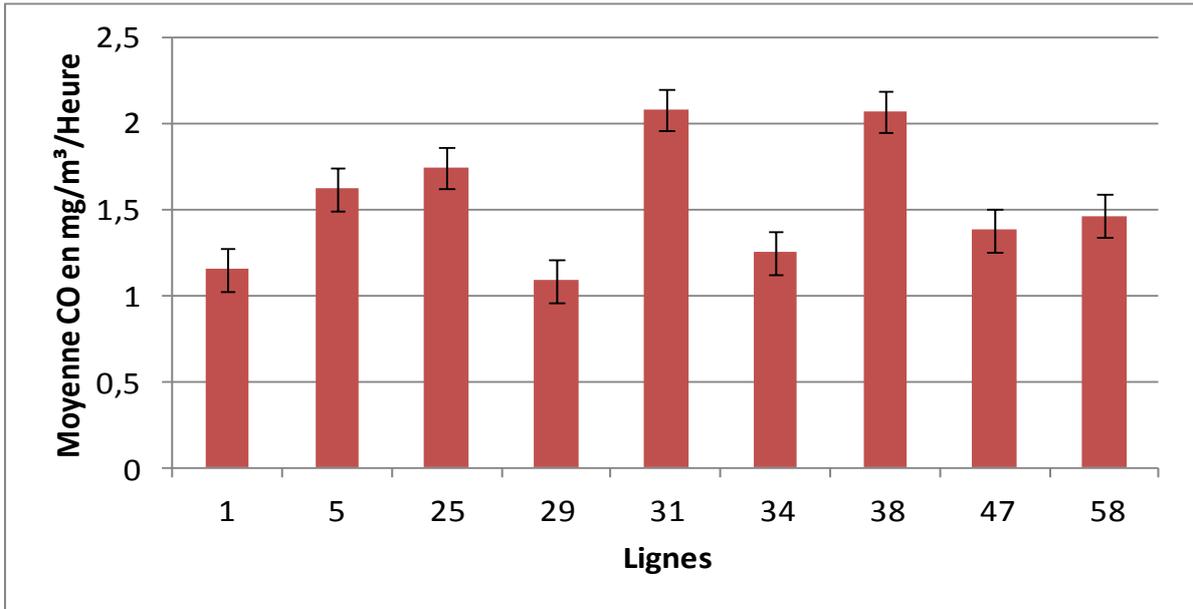


Figure 4 : Concentrations moyennes par heure de CO

Les concentrations par heure de CO ont varié de 1,1 à 2,1 mg/m³/heure. La moyenne globale sur l'ensemble des lignes étudiées est de 1,54 mg/m³/heure. Deux lignes ont présenté les plus grandes valeurs (lignes 31 et 38) tandis que la valeur la plus faible a été retrouvée sur la 29.

La figure ci-dessous présente les moyennes par heure des différentes mesures de PM₁₀ selon les lignes.

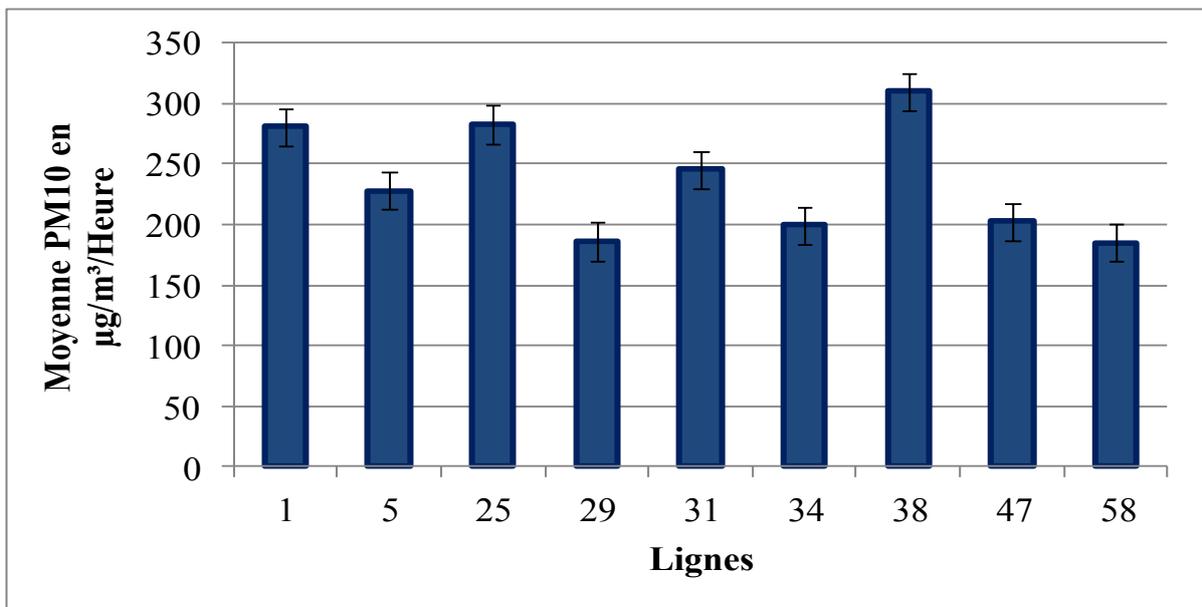


Figure 5 : Concentrations moyennes par heure des PM₁₀

Les concentrations de PM_{10} ont varié de 185 à 310 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$ sur l'ensemble des lignes avec une valeur moyenne globale de 236 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$. La valeur maximale de cette mesure est portée par la ligne 38 tandis que la valeur minimale est portée par la ligne 58. Plusieurs lignes (1, 25 et 38) ont présenté des valeurs supérieures à 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$.

La figure ci-dessous présente les moyennes horaires des NO_x sur les différentes lignes.

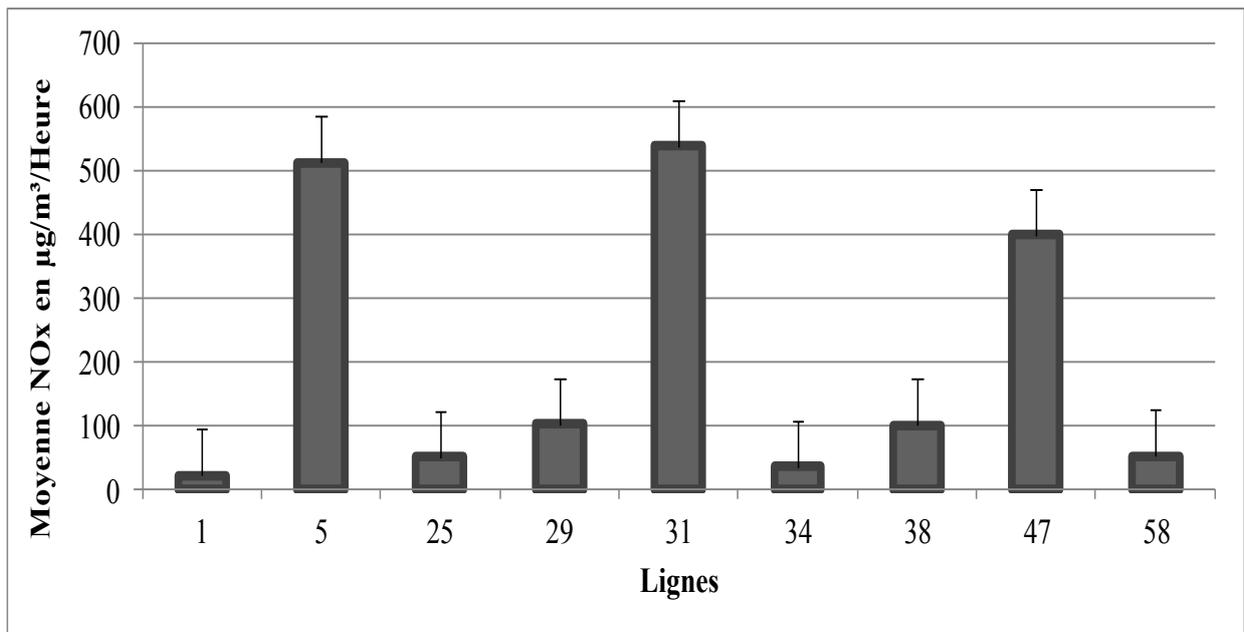


Figure 6 : Concentrations moyennes par heure de NO_x

Les moyennes par heure des NO_x présentent une distribution inhomogène sur l'ensemble des lignes. Les résultats vont de 22 à 534 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$ avec une moyenne générale de 202 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$. Les deux tiers de ces mesures présentent sont d'environ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$ tandis que deux lignes (5 et 31) ont présenté des valeurs supérieures à 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$ et la dernière (ligne 47) 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{heure}$.

II°/ Discussion

L'enjeu de la pollution atmosphérique est autant plus inquiétant au regard des effets sanitaires qu'elle peut, à court ou à long terme, engendrer. Si au cours de ces dernières décennies des mesures particulières sont prises dans plusieurs pays (surtout les pays développés) pour assurer la qualité par la mise en place des mesures règlementaires et des mécanismes de contrôle continu de la pollution, des efforts restent encore à faire dans la majorité des pays (surtout ceux du sud).

- **CO**

Les résultats de la présente étude montrent des concentrations moyennes de CO plus faibles par rapport aux différentes normes. La moyenne générale de pollution au CO de 1,54 mg/m³/heure (1,35 ppm/heure) est inférieure à la valeur guide de l'OMS (OMS, 2005) pour la protection de la santé (10 mg/m³ pour 8 heures) pour les passagers qui passent en moyenne une heure dans les transports publics. Cependant cette concentration pourrait être légèrement élevée (12,32 mg/m³ pour 8 heures soit 10,8 ppm/8 heures) pour les employés des sociétés de transport en commun (chauffeurs et receveurs de bus) qui passent en moyenne 08 heures de temps dans le transport.

En milieu professionnel, la norme française recommande une valeur limite d'exposition professionnelle VLEP de 08 heures égale à 55 mg/m³ (INRS, 2016). De leur côté l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) a fixé une TWA-8 heures (Time-Weighted Average) de 25 ppm et le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a proposé une concentration moyenne maximale (TWA-8 heures) de 35 ppm avec une limite maximale acceptable de 200 ppm pour 8 heures de travail (ACGIH, 2013). A cet effet les concentrations de CO trouvées dans la présente étude n'excèdent donc pas ces différentes normes en terme d'exposition professionnelle.

Dans les différents États, les réglementations diffèrent légèrement selon le niveau de protection défini par chaque État. Au Québec, le règlement sur la santé et la sécurité du travail a établi une valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) sur une période de 8 heures de 35 ppm à ne pas dépasser (Gouvernement du Québec, 2013). Le Sénégal pour sa part a fixé une valeur de 30 mg/m³ pour 24 heures. Il en ressort que la moyenne de CO présentée dans cette étude ne dépasse pas les limites règlementaires définies et est conforme aux normes internationales sur la qualité de l'air intérieur et les expositions professionnelles.

Des taux de concentration similaires en CO ont été trouvés dans d'autres études comme celle de Limasset (1993). Les niveaux de pollution rencontrés dans cette étude sont de 11,3 ppm et 12,5 ppm respectivement dans les bus de Paris et de Bordeaux. Dans une étude comparative entre divers modes de déplacement (marche, motorcycle, véhicule léger et bus), Saksena et al. (2008) ont trouvé des concentrations 11,5 ppm de CO dans les bus. Ce qui se compare bien aux valeurs de 10,8 ppm en 08 heures trouvées dans notre étude.

De leur côté, Chan et al. (2001) ont trouvé dans les bus de Hong Kong une moyenne de 1,9 ppm pour des trajets d'environ une heure contre 1,35 ppm/heure trouvé dans notre étude. Par ailleurs, leur étude a aussi montré que les bus de transport intra-urbain (urbain-urbain) ont présenté des moyennes de 1,5 à 2,4 ppm pour des durées allant de 40 à 57 minutes alors que les bus effectuant les trajets urbain-banlieue avec des durées de 60 à 88 minutes ont présenté des moyennes de 1,6 à 2,8 ppm. Ces résultats étayent nos hypothèses selon lesquelles les bus effectuant les trajets entre Dakar et sa banlieue présentaient des niveaux de pollution plus élevée (lignes 31 : Sahm-Pikine Texaco et 38 : Sahm-Guediawaye avec des moyennes par heure respectives de 2,08 mg/m³/heure et 2,07 mg/m³/heure) ; comparée aux bus des trajets urbain-urbain (Lignes 1 : Lat Dior-HLM Grand Yoff et 34 : Lat Dior-Nord Foire avec des moyennes de 1,5 mg/m³/heure et 1,25 mg/m³/heure respectivement) qui ont des niveaux plus bas de CO. Ces différences s'expliqueraient par le confinement de l'axe routier, la densité du trafic, les embouteillages et les fumées noires. Ces lignes urbain-banlieue présentent un confinement de la voie, constaté sur les lignes 31 et 38 à partir de Liberté 6 jusqu'à leur terminus. De même, on a aussi enregistré un nombre considérable de fumées noires dues aux cars rapides sur ces trajets mais nous ne saurons ici faire le lien direct avec les niveaux de CO rencontrés. Cependant la congestion de l'axe routier par des constructions, des bâtiments et des arbres empêche l'aération et la dispersion des polluants et favorise leur accumulation (Saksena et al. 2008). Ainsi le CO rejetés dans le trafic se retrouve en forte concentration sur les axes routiers étroits.

Ces observations rejoignent les travaux de Morin et al. (2009) qui ont montré de plus forte concentration de polluants dans les tunnels et pendant les heures de pointe. Ces mêmes observations avaient été faites dans l'étude de Zagury et al. (2000) qui a mis en évidence l'impact du sillage sur les niveaux de concentration des pollutions à l'intérieur du véhicule. Ces constatations confirment les résultats de la présente étude et témoignent d'une plus grande crédibilité.

- **PM₁₀** :

Les PM₁₀ (*Particulate Matter*) sont des matières particulaires dont la taille est inférieure à 10 µm. La moyenne générale des PM₁₀ retrouvés durant la campagne de mesure est de 236 µg/m³/heure soient 1888 µg/m³ pour 08 heures.

Les normes de réglementation de la pollution proposées par l’OMS et l’Union Européenne pour la protection de la santé, suggèrent une moyenne de 50 µg/m³ pour 24 heures (OMS, 2005) ; et en France ces valeurs ont été traduites en texte par décret (République française, décret n°2010-1250, 2010). Par contre au niveau local, la norme sénégalaise a fixé une valeur limite plus élevée (260 µg/m³ pour 24 heures).

Les résultats de la présente étude montrent des niveaux de concentration de PM₁₀ assez élevées mais difficilement comparables. Par rapport aux valeurs guides de l’OMS, aux normes de l’UE et de la France, on observe un dépassement important de plus de 4,5 fois les valeurs limites recommandées si la pollution était constante toutes les heures au cours d’une journée de 24 heures mais ce qui n’est probablement pas réelle. Les mesures effectuées les matins étaient en moyenne plus faibles que celles des soirs. Sur toutes les lignes de bus étudiées dans cette campagne de mesure, on observe un dépassement d’au moins 3 fois la limite recommandée par l’UE et l’OMS. Cependant notons que ces limites réglementaires sont indiquées pour une exposition de 24 heures.

Par ailleurs la moyenne général de 236 µg/m³/heure retrouvé dans cette mesure n’excède pas la réglementation au niveau local qui prévoit une limite de 260 µg/m³ pour 24 heures par contre on observe des dépassements de cette valeur au niveau de plusieurs lignes (ligne 1 : Lat Dior- HLM Grand Yoff, 281 µg/m³/heure ; ligne 25 : Petersen-Parcelles, 283 µg/m³/heure et ligne 38 : Sahm-Guediawaye avec une moyenne de 310 µg/m³/heure). Ce qui suppose qu’une heure de trajet passée dans ces bus expose à un dépassement de la valeur seuil sénégalaise. Ces dépassements pourraient s’expliquer par les conditions météorologiques. En effet la période des prélèvements coïncidait avec la saison de fraîcheur et des grands vents de poussière à Dakar. De très nombreux vents de poussières ont été mentionnés lors des prélèvements. Ainsi les lignes 1 et 5 ne présentent pas de caractéristiques particulières par rapport à leur trajet ou à l’aspect des voies empruntées mais une atmosphère sombre et de la visibilité réduite avec des poussières ont été notées sur ces trajets. En outre Dakar étant une presqu’île les niveaux de PM₁₀ souvent rencontrés sont des fois influencés par des embruns

marins et les vents du Sahel. En dehors de ces conditions météorologiques, la valeur extrême observée sur la ligne 38 serait alliée à la prépondérance des fumées noires sur son trajet associées aux multiples embouteillages.

Les valeurs limites d'exposition professionnelle définie d'après la réglementation française est de 10 mg/m^3 ($10000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) pour la fraction inhalable et 5 mg/m^3 ($5000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) pour la fraction alvéolaire pour 08 heures (INRS, 2016) or la présente campagne montre une moyenne de $236 \text{ } \mu\text{g/m}^3/\text{heure}$ soient $1888 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ pour 08 heures. Ces valeurs sont alors inférieures à la VLEP française.

Les travaux de Morin et al. (2009) ont montré des concentrations moyennes de polluants allant de 150 à $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Cependant les polluants considérés dans cette étude étaient les PM_{10} . La valeur moyenne de PM_{10} de $236 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ trouvée dans notre étude se justifie du fait que les PM_{10} sont incluses dans les PM_{10} qui ont fait objet de mesure. Des résultats similaires ont été obtenus par Saksena et al. (2008) qui ont montré des concentrations de PM_{10} de l'ordre de $262 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ dans les bus au Vietnam. Pour leur part Praml et Schierl (2000) avaient trouvé des moyennes globales de $155 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ de PM_{10} pour l'ensemble des trajets effectués dans les bus de Munich avec des valeurs allant de 71 à $279 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Notre étude est de ce fait en harmonie avec les résultats des autres auteurs sur ce sujet.

- **NO_x :**

Au cours de cette campagne le NO et NO₂ ont fait objet de mesure sur les différentes lignes. Le NO libéré dans l'atmosphère en présence de l'ozone de l'air et sous l'effet des rayonnements solaires se convertit en NO₂. La moyenne horaire globale de NO_x est de $202 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (soit $1616 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ pour 08 heures). Pour le NO la moyenne horaire globale est de $197,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ et de $8,75 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ pour le NO₂.

La valeur guide de l'OMS pour le NO₂ est de $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ par heure pour la qualité de l'air intérieur (OMS, 2010). Au niveau local, cette valeur reste inchangée dans la réglementation sénégalaise. Il en ressort que cette limite est très élevée par rapport au niveau de NO₂ retrouvé dans notre étude.

En milieu professionnel, le règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec prescrit que les travailleurs ne doivent pas être exposés à une concentration moyenne de plus de 3 ppm de NO₂ (soit une valeur d'exposition moyenne professionnelle VEMP de $5600 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) durant 8 heures de travail (Gouvernement du Québec, 2013) tandis que l'ACGIH

recommande en milieu de travail, une concentration de 0,2 ppm ($380 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sur 8 heures pour la protection des travailleurs à risque et non à risque (ACGIH, 2013). Aux États-Unis, l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) a établi une valeur plafond de 5 ppm ($9000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de NO_2 en milieu de travail, tandis que le NIOSH recommande que la concentration de NO_2 ne dépasse pas 1 ppm ($1800 \mu\text{g}/\text{m}^3$) durant 15 minutes (OSHA, 1989; NIOSH, 2011). En France, la valeur limite d'exposition professionnelle du NO_2 recommandée est 3 ppm soit $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (INERIS, 2011).

Les concentrations de NO_2 sur 1 heure ($8,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et sur 8 heures ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) retrouvées dans cette étude sont toutes inférieures aux valeurs réglementaires en milieu professionnel et sur la qualité de l'air intérieur au niveau national et international.

Quant au NO, la valeur moyenne d'exposition définie est de 25 ppm ou $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (INERIS, 2011). Cette valeur est aussi supérieure à la valeur moyenne horaire ($197,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de NO trouvée dans notre étude. Morin et al. (2009) dans leur étude ont trouvé des concentrations moyennes de NO_2 , entre 200 et $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par tronçon. Limasset et al. (1993) pour leur part avaient trouvé des concentrations de NO allant de 563 à 602 ppb (soit $690,8$ à $738,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sur des trajets de 90 à 130 minutes à Paris et des concentrations de 76 à 102 ppb (soit $136,8$ à $183,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le NO_2 pour les mêmes durées de trajet. Les écarts constatés par rapport à ces résultats sont d'ordre méthodologique, liées à la performance des appareils utilisés.

CONCLUSION

Les émissions des véhicules constituent une menace sérieuse pour la santé humaine et le bien-être des populations particulièrement dans les zones urbaines; elles sont à prendre en considération car l'exposition à des mélanges de polluants atmosphériques conduit à des risques sanitaires délétères voire irréversibles. Cette campagne de mesure a présenté des valeurs de CO et de NOx respectant les normes nationales et internationales, mais pour les concentrations de PM₁₀ on observe quelques dépassements par endroit d'où la nécessité de prendre des mesures correctrices. Les populations les plus sensibles sont les enfants, les personnes âgées, les sujets présentant des problèmes respiratoires ou des problèmes cardiaques. Les cibles immédiates sont les conducteurs de bus, les receveurs et les passagers. Les niveaux élevés de PM₁₀ sont sources d'affections respiratoires, cardiovasculaires et cancérogènes.

A Dakar, les principales causes de cette élévation des polluants particuliers sont les embouteillages, les fumées noires et dans une moindre mesure les surcharges de passagers. Il serait bénéfique en terme socio-économique d'éviter les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé, en agissant sur trois axes principaux :

- La réduction de la densité du trafic routier : par la limitation du nombre de véhicule circulant qui est source de congestion des voies aux heures de pointe et la mise en place des campagnes périodiques de mesure de la pollution.
- Le renouvellement du parc automobile afin de limiter les émissions de polluants.
- La limitation du nombre de passager dans les transports en commun afin de favoriser une aération maximale et limiter l'accumulation de polluants à l'intérieur dans les cabines des bus. Aussi une solution complémentaire serait une ventilation en air conditionné avec les vitres fermés afin d'éviter l'entrée excessive de polluants extérieurs.

Par ailleurs cette étude mérite d'être approfondie en incorporant d'autres polluants comme l'ozone et les oxydes de soufre et nous recommandons que d'autres études soient menées afin d'évaluer l'exposition des populations résidentes aux alentours des grandes voies de communications ou des routes à forte densité de circulation.

BIBLIOGRAPHIE

3M Personal Safety Division, 3MTM EVM Series Environmental Monitor, Simultaneous Particulate and Gas Concentration Measurement. User Manual 3M.

ADILCA. La pollution automobile, www.adilca.com ; consulté le 22/01/2017.

AllAfrica, Sénégal: Automobile - Le décret sur l'âge des véhicules fait exploser le parc <http://fr.allafrica.com/stories/201504101717.html>, 10 Avril 2015 ; consulté le : 22/02/2017.

Amato F, Pandolfi M, Moreno T, Furger M, Pey J, Alastuey A, Bukowiecki N, Prevot ASH, Baltensperger U, Querol X. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*. 2011a ; 45 (37) : 6777- 6787.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). TLVs and BEIs Based on the Documentation for Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices, Cincinnati (Ohio), ACGIH, 2013.

ANSD, Situation économique et sociale régionale 2013, avril 2015, accessible à www.ansd.sn/ressources/ses/chapitres/1-population-dakar2013.pdf, consulté le: 03/04/2017.

AQ PRO Instruction & Operations Manual Version 1.05, E Instruments International LLC, www.E-Inst.com.

Borie AL. Pollution atmosphérique et santé : Les sujets à risque en Limousin, états des lieux des attentes locales pour une information plus ciblée. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, faculté de pharmacie, université de Limoges. 2006. Disponible à <http://docplayer.fr/21145572-Faculte-de-pharmacie-annee-2006-these-n.html>, consulté le : 25/05/2017.

Brachtla MV, Duranta JL, Paez Perezb C, Oviedob J, Sempertegui F, Naumovad EN, Griffithsa JK. Spatial and temporal variations and mobile source emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons in Quito, Ecuador. *Environ Pollut*. 2009 ; 157(2): 528–536.

Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet*. 2002; 360:1233–1242.

CETUD, Rapport annuel 2015, Ministère des Infrastructures, des Transports Terrestres et du Désenclavement, La mobilité pour tous, à moindre coût et en toute sécurité, Dakar.

Chan LY, Lau WL, Zou SC, Cao ZX, Lai SC. Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*. 2002 ; 36 : 5831–5840

Chan LY, Liu YM , Carbon monoxide levels in popular passenger commuting modes traversing major commuting routes in Hong Kong, *Atmospheric Environment*. 2001 ; 35 2637-2646

Colbeck I, Nasir ZA, Ahmad S, Ali Z. Aerosol and Air Exposure to PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ and Carbon Monoxide on Roads in Lahore, Pakistan. *Quality Research*. 2011 ; 11 : 689-695.

République française, décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air, disponible à : https://www.airparif.asso.fr/_pdf/decret21102010.pdf, consulté le : 05/04/2017.

Denier van der Gon H, Gerlofs-Nijland ME, Gehrig R, Gustafsson M, Janssen N, Harrison RM, Hulskotte J, Johansson C, Jozwicka M, Keuken M, Krijgheld K, Ntziachristos L, Riediker M, Cassee FR. The policy relevance of wear emissions from road transport, now and in the future e an international workshop report and consensus statement. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 2013 ; 63 (2) : 136-149.

Dons E, Int Panis L, Van Poppel M, Theunis J, Willems H, Torfs R, Wets G. Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon. *Atmos. Environ*. 2011; 45:3594–3602.

Ndiaye EHM, Tremblay R. Le transport routier au Sénégal : problématique de la gestion des gares routières. *Canadian Journal of Regional Science/Revue canadienne des sciences régionales*, XXXII : 3 (Autumn/automne 2009), 495-510 ISSN : 0705-4580. Accessible au <http://www.cjrs-rcsr.org/archives/32-3/NDIAYE-final.pdf>, consulté le : 22/02/2017.

EMTASUD : Enquêtes-Ménages sur la Mobilité, le Transport et l'Accès aux Services Urbains dans l'Agglomération de Dakar ; 2015, accessible au <http://www.cetud.sn/images/docs/emtasud-2015.pdf>, consulté le : 22/02/2017.

Evans J, Donkelaar A, Randall VM, Burnett R, Rainham DG, Birkett NJ, Krewski D. Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environmental Research*. 2013 ; 120 : 33-42.

Bertholet F, Tracz G, Dinghem S, Irwin T, Diouf I, Ndiaye I, Wodon Q, Siaens C, Savard L. Le secteur des transports routiers au Sénégal. Juin 2004, accessible au <http://siteresources.worldbank.org/INTTRM/Resources/514793-1131130428609/AFR-Senegal-output-ESW.pdf>, consulté le : 22/02/2017.

Fedoruk MJ, Kerger BD. Measurement of volatile organic compounds inside automobiles. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 2003 ; 13 : 31–41.

Fruin SA, Hudda N, Sioutas C, Delfino RJ. A Predictive Model for Vehicle Air Exchange Rates based on a Large, Representative Sample. *Environ Sci Technol*. 2011 ; 45(8): 3569–3575.

Gasana J, Dillikar D, Mendy A, Forno E, Vieira ER. Motor vehicle air pollution and asthma in children: A meta-analysis. *Environmental Research*. 2012 ; 117 : 36-45.

Gouvernement du Québec. Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RLRQ, c. S-2.1, r. 13), Québec, Les Publications du Québec, 2013.

Goyal P, Mishra D, Kumar A. Vehicular emission inventory of criteria pollutants in Delhi. *SpringerPlus*. 2013 ; 2:216.

Hanoune B, le formaldéhyde dans l'habitacle des véhicules automobiles, 42 - *Air Pur* N° 74 - Premier semestre 2008.

Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, Van Den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*. 2002; 360:1203–1209.

Hudda N, Fruin SA. Models for predicting the ratio of particulate pollutant concentrations inside vehicles to roadways. *Environ Sci Technol*. 2013; 19 : 47(19): . doi:10.1021/es401500c.

INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques OXYDES D'AZOTE NOX, DRC-11-117259-10320A, Version N°2-septembre 2011.

INRS, les valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED984, Octobre 2016.

Jerrett M, Shankardass K, Berhane K, Gauderman WJ, Kunzli N, Avol E, Gilliland F, Lurmann F, Molitor JN, Molitor JT, Thomas DC, Peters J, McConnell R. Traffic-related air pollution and asthma onset in children: a prospective cohort study with individual exposure measurement. *Environ Health Perspect*, 2008; 116 : 1433-1438.

Lamorena RB, Lee W. Influence of ozone concentration and temperature on ultra-fine particle and gaseous volatile organic compound formations generated during the ozone-initiated reactions with emitted terpenes from a car air freshener, *Journal of Hazardous Materials*. 2008 ; 158, Issues 2–3, 471–477.

Laumbach RJ, Kipen HM. Acute effects of motor vehicle traffic-related air pollution exposures on measures of oxidative stress in human airways. *Ann N Y Acad Sci*. 2010 ; 1203: 107–112.

Limasset JC, Diebold F, Hubert G. Exposition des conducteurs de bus urbains aux polluants de la circulation automobile, *The Science of the Total Environment*. 1993 ; 134 39-49

Marr LC, Grogan LA, Wöhrnschimmel H, Molina L, Molina MJ. Vehicle Traffic as a Source of Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure in the Mexico City Metropolitan Area. *Environ Sci Technol*. 2004 ; 38(9): 2584–2592.

Müller D, Klingelhöfer D, Uibel S, Groneberg DA. Car indoor air pollution - analysis of potential sources. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2011, 6:33.

Morin JP, Gouriou F, Preterre D, Bobbia M, Delmas V. Évaluation de l'exposition aux polluants atmosphériques des conducteurs de véhicules automobiles par la mise en œuvre de mesures dynamiques dans l'habitacle du véhicule. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2009 ; 70 : 184 – 192.

Nasir ZA, Colbeck I. Particulate air pollution in transport micro-environments, *Journal of Environmental Monitoring*. 2009 ; 11 : 1140–1146.

National Institute For Occupational Safety And Health (NIOSH). 1988 OSHA PEL Project Documentation – Nitrogen dioxide, 2011.

Occupational Safety And Health Administration (OSHA). Nitrogen dioxide, OSHA, 1989.

OMS, Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, Mise à jour mondiale 2005, disponible à http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69476/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_fre.pdf, consulté le : 05/04/2017.

Othoman MA, Mohd Fouzi MS, Sulaiman SA. Effect of Air Circulation on Particles Concentration in a Car Compartment in Tropical Country. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2014 ; 8(4) : 849-854

Ott W, Klepeis N, Switzer P. Air change rates of motor vehicles and in vehicle pollutant concentrations from secondhand smoke. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. 2007 ; 1–14.

Ott W, Klepeis N, Switzer P. Air change rates of motor vehicles and in-vehicle pollutant concentrations from secondhand smoke. J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol. , 2008 ; 18 : 312-325.

Pang X, Mu Y. Characteristics of carbonyl compounds in public vehicles of Beijing city: concentrations, sources, and personal exposures. Atmos. Environ., 2007 ; 41 : 1819-1824.

Pant P, Harrison RM. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. Atmospheric Environment. 2013 ; 77 : 78-97.

PCFV, véhicules plus propres dans les pays en développement et en transition : Le rôle des carburants à faible teneur en soufre. Rapport du groupe de travail sur le soufre du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV), Imprimé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, pour le compte du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres, Nairobi, Kenya, février 2007.

Praml G, Schierl R. Dust exposure in Munich public transportation: a comprehensive 4-year survey in buses and trams. Int Arch Occup Environ Health. 2000 ; 73: 209-214

Sabin LD, Behrentz E, Winer AM, Jeong S, Fitz DR, Pankratz DV, Colome SD, Fruin SA. Characterizing the range of children's air pollutant exposure during school bus commutes. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* , 2005 ; 15 : 377-387.

Saksena S, Quang TN, Nguyen T, Dang PN, Flachsbart P. Commuters' exposure to particulate matter and carbon monoxide in Hanoi, Vietnam. *Transportation Research Part D.* 2008 ; 13 206–211

Shiohara N, Fernandez-Bremauntz AA, Jiménez SB, Yanagisawa Y. The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City. *Atmos. Envir.*, 2005 ; 39 : 3481-3489.

SSATP : Document d'analyse SSATP No.11, série transport urbain, Renouvellement du parc d'autobus à Dakar, avant et après, Ajay Kumar et Christian Diou.

Tonne C, Yanosky J, Gryparis A, Melly S, Mittleman M, Goldberg R, von Klot S, Schwartz J. Traffic particles and occurrence of acute myocardial infarction: a case-control analysis *Occup Environ Med* 2009; 66 : 97–804.

OMS, World Health Organization – Regional Office For Europe (OMS-Europe). WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants, Copenhagen, World Health Organization – Regional Office for Europe, 2010, 484 p.

Wuan J, Wilhelm M, Chung J, Ritz B. Comparing exposure assessment methods for traffic related air pollution in an adverse pregnancy outcome study. *Environmental Research.* 2011 ; 111 : 685-692.

Zagury E, Le Moullec Y, Momas I. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occup Environ Med.* 2000; 57:406-410.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Teneurs moyennes des CO, CO₂ et PM₁₀ suivant le trajet et suivant les lignes

LIGNES	TOUR	MOYENNES				
		CO2 (PPM)	CO (PPM)	COmMg/m3	PM10(mg/m3)	PM10(µg/m3)
31	ALLER 1	584	2	3,599	0,255	255
	ALLER 2	574	2	3,599	0,201	201
	ALLER 3	588	3	5,399	0,305	305
	RETOUR 1	595	3	5,399	0,296	296
	RETOUR 2	680	2	3,599	0,286	286
	RETOUR 3	672	3	5,399	0,428	428
	MOYENNE 31	615,5	2,5	4,499	0,295166667	295,2
38	ALLER 1	698	3	5,399	0,623	623
	ALLER 2	885	3	5,399	0,341	341
	ALLER 3	814	3	5,399	0,43	430
	RETOUR 1	657	3	5,399	0,438	438
	RETOUR 2	755	3	5,399	0,418	418
	RETOUR 3					
	MOYENNE 38	761,8	3	5,399	0,45	450
58	ALLER 1	680	2	3,599	0,272	272
	ALLER 2	734	2	3,599	0,21	210
	ALLER 3	708	2	3,599	0,244	244
	RETOUR 1	541	2	3,599	0,203	203
	RETOUR 2	565	1	1,800	0,209	209
	RETOUR 3	664	2	3,599	0,251	251
	MOYENNE 58	648,666667	1,833333333	3,299	0,2315	231,5

LIGNES	TOUR	MOYENNES				
		CO2 (PPM)	CO (PPM)	COmMg/m3	PM10(mg/m3)	PM10(µg/m3)
25	ALLER 1	659	2	3,599	0,232	232
	ALLER 2	587	1	1,800	0,39	390
	ALLER 3	691	2	3,599	0,411	411
	RETOUR 1	609	2	3,599	0,25	250
	RETOUR 2	626	2	3,599	0,237	237
	RETOUR 3	705	2	3,599	0,26	260
	MOYENNE 25	646,166667	1,833333333	3,299	0,296666667	296,7
29	ALLER 1	709	2	3,599	0,306	306
	ALLER 2	583	1	1,800	0,253	253
	ALLER 3	677	1	1,800	0,321	321
	RETOUR 1	646	2	3,599	0,234	234
	RETOUR 2	565	2	3,599	0,232	232
	RETOUR 3	683	2	3,599	0,367	367
	MOYENNE 29	643,8333333	1,666666667	2,999	0,2855	285,5
5	ALLER 1	546	1	1,800	0,264	264
	ALLER 2	697	3	5,399	0,301	301
	ALLER 3	692	2	3,599	0,234	234
	RETOUR 1	614	2	3,599	0,289	289
	RETOUR 2	597	2	3,599	0,271	271
	RETOUR 3	611	2	3,599	0,327	327
	MOYENNE 5	626,166667	2	3,599	0,281	281

LIGNES	TOUR	MOYENNES				
		CO2 (PPM)	CO (PPM)	COmMg/m3	PM10(mg/m3)	PM10(µg/m3)
34	ALLER 1	990	2	3,599	0,312	312
	ALLER 2	593	2	3,599	0,27	270
	ALLER 3	608	2	3,599	0,221	221
	RETOUR 1	844	1	1,800	0,249	249
	RETOUR 2	593	2	3,599	0,27	270
	RETOUR 3	622	1	1,800	0,273	273
	MOYENNE 34	708,333333	1,66666667	2,999	0,265833333	265,8
1	ALLER 1	644	2	3,599	0,472	472
	ALLER 2	589	1	1,800	0,414	414
	ALLER 3	646	2	3,599	0,428	428
	RETOUR 1	621	2	3,599	0,325	325
	RETOUR 2	533	1	1,800	0,327	327
	RETOUR 3	579	2	3,599	0,478	478
	MOYENNE 1	602	1,66666667	2,999	0,407333333	407,3
47	ALLER 1	614	3	5,399	0,454	454
	ALLER 2	607	3	5,399	0,347	347
	ALLER 3	638	3	5,399	0,374	374
	RETOUR 1	678	3	5,399	0,496	496
	RETOUR 2	607	3	5,399	0,347	347
	RETOUR 3	693	2	3,599	0,47	470
	MOYENNE 47	639,5	2,83333333			
TOTAL		654,66	2,375			

ANNEXE 2 : Teneurs moyennes des NO, NO₂ et NO_x suivant le trajet et suivant les lignes

LIGNES	TOUR	MOYENNES ET ECARTYPES (mg/m3)					
		NO		NO ₂		NO _x	
		Moy	ECART TYPE	Moy	ECARTYPE	Moy	ECARTYPE
31	ALLER 1	0,425	±0,283	0,000	0,000	0,425	±0,283
	ALLER 2	1,171	±0,145	0,000	0,000	1,171	±0,145
	ALLER 3	0,019	±0,04	0,000	0,000	0,019	±0,04
	RETOUR 1	1,156	±0,245	0,000	0,000	1,156	±0,245
	RETOUR 2	1,047	±0,194	0,000	0,000	1,047	±0,19
	RETOUR 3	0,063	±0,136	0,000	0,000	0,063	±0,136
	MOYENNE 31	0,647	0,544	0,000		0,647	0,544
1	ALLER 1	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	ALLER 2	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	ALLER 3	0,042	±0,084	0,000	0,000	0,042	±0,084
	RETOUR 1	0,011	±0,046	0,000	0,000	0,011	±0,0458
	RETOUR 2	0,013	±0,05	0,038	±0,0885	0,050	±0,121
	RETOUR 3	0,092	±0,178	0,000	0,000	0,092	±0,178
	MOYENNE 01	0,026	0,036	0,006	0,015	0,032	0,036
5	ALLER 1	0,664	±0,445	0,000	0,000	0,664	±0,445
	ALLER 2	1,214	±0,828	0,029	±0,1069	1,243	±0,789
	ALLER 3	0,039	±0,085	0,000	0,000	0,039	±0,0849
	RETOUR 1	0,800	±0,206	0,000	0,000	0,800	±0,206
	RETOUR 2	1,046	±0,315	0,000	0,000	1,046	±0,315
	RETOUR 3	0,007	±0,0258	0,000	0,000	0,007	±0,0258
	MOYENNE 05	0,628	0,506	0,005	0,012	0,633	0,513

LIGNES	TOUR	MOYENNES ET ECARTYPES (mg/m3)					
		NO		NO2		NOx	
		Moy	ECART TYPE	Moy	ECARTYPE	Moy	ECARTYPE
25	ALLER 1	0,008	±0,0289	0,000	0,000	0,008	±0,0288
	ALLER 2	0,064	±0,1399	0,000	0,000	0,064	±0,139
	ALLER 3	0,044	±0,092	0,039	±0.07775	0,083	±0,104
	RETOUR 1	0,077	±0,093	0,000	0,000	0,077	±0,093
	RETOUR 2	0,033	±0,078	0,000	0,000	0,033	±0,078
	RETOUR 3						
	MOYENNE 25	0,045	0,027	0,008	0,017	0,053	0,032
29	ALLER 1	0,130	±0,22	0,000	0,000	0,130	±0,22
	ALLER 2	0,074	±0,145	0,000	0,000	0,074	±0,145
	ALLER 3	0,010	±0,0436	0,000	0,000	0,010	±0,044
	RETOUR 1	0,490	±0,459	0,130	±0.20026	0,620	±0,427
	RETOUR 2	0,110	±0,179	0,000	0,000	0,110	±0,179
	RETOUR 3	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	MOYENNE 31	0,136	0,181	0,022	0,053	0,157	0,233
34	ALLER 1	0,200	±0,0816	0,000	0,000	0,200	±0,0816
	ALLER 2	0,006	±0,0243	0,000	0,000	0,006	±0,0243
	ALLER 3	0,020	0,056	0,000	0,000	0,020	±0,056
	RETOUR 1	0,028	±0,096	0,033	±0.068599	0,061	±0,109
	RETOUR 2	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	RETOUR 3	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	MOYENNE 34	0,042	0,078	0,006	0,014	0,048	0,078

LIGNES	TOUR	MOYENNES ET ECARTYPES (mg/m3)					
		NO		NO2		NOx	
		Moy	ECART TYPE	Moy	ECARTYPE	Moy	ECARTYPE
38	ALLER 1	0,000	±0	0,000	0,000	0,074	±0,109
	ALLER 2	0,194	±0,146	0,000	0,000	0,194	±0,146
	ALLER 3	0,036	±0,082	0,000	0,000	0,036	±0,082
	RETOUR 1	0,287	±0,24	0,000	0,000	0,287	±0,24
	RETOUR 2	0,104	±0,1435	0,038	±0,0644	0,142	±0,10
	RETOUR 3						
	MOYENNE 38	0,124	0,117	0,008	0,017	0,147	0,099
47	ALLER 1	1,509	±0,439	0,018	±0,08528	1,527	±0,401
	ALLER 2	0,300	±0,340	0,000	0,000	0,300	±0,34
	ALLER 3	1,204	±0,482	0,019	±0,0786278	1,222	±0,453
	RETOUR 1	0,791	±0,424	0,048	±0,06653	0,839	±0,457
	RETOUR 2	0,809	±0,336	0,000	0,000	0,809	±0,336
	RETOUR 3	0,000	±0	0,218	±0,1401298	0,218	±0,14
	MOYENNE 47	0,769	0,557	0,050	0,084	0,819	0,509
58	ALLER 1	0,067	±0,129	0,000	0,000	0,067	±0,129
	ALLER 2	0,106	±0,125	0,012	±0,048507	0,118	±0,1237
	ALLER 3	0,011	±0,047	0,000	0,000	0,011	±0,047
	RETOUR 1	0,129	±0,114	0,000	0,000	0,129	±0,114
	RETOUR 2	0,046	±0,119	0,023	±0,0438529	0,069	±0,144
	RETOUR 3	0,000	±0	0,000	0,000	0,000	0,000
	MOYENNE 58	0,060	0,051	0,006	0,010	0,066	0,053