



HAL
open science

PROBLEMATIQUE DE LA DEGRADATION DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LA VILLE DE KINSHASA

Rodriguez Yombo Phaka, Holy Holenu Mangenda, Alexis Vuni Simbu, Ruffin Bakambana Ndambi, Richard Bopili Mbotia Lepiba, Jules Aloni Komanda

► To cite this version:

Rodriguez Yombo Phaka, Holy Holenu Mangenda, Alexis Vuni Simbu, Ruffin Bakambana Ndambi, Richard Bopili Mbotia Lepiba, et al.. PROBLEMATIQUE DE LA DEGRADATION DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LA VILLE DE KINSHASA. 2022. hal-03274352v5

HAL Id: hal-03274352

<https://hal.science/hal-03274352v5>

Preprint submitted on 19 Jan 2022 (v5), last revised 31 Jan 2022 (v6)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1 PROBLEMATIQUE DE LA DEGRADATION
2 DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LA
3 VILLE DE KINSHASA

4 (première campagne de mesures mobiles)

5 YOMBO PHAKA Rodriguez ^{*,1,3}, HOLENU MANGENDA Holy², VUNI SIMBU
6 Alexis², BAKAMBANA NDAMBI Ruffin², BOPILI MBOTIA LEPIBA Richard², and
7 ALONI KOMANDA Jules²

8 ¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences/Dpt de Physique, Kinshasa, RDC

9 ²Université de Kinshasa, Faculté des Sciences/Dpt de GéoScience, Kinshasa, RDC

10 ³Institut d'Astrophysique et de Geophysique, UR SPHERES, Université de Liège, Liège,

11 Belgique

12 **Abstract**

13 This study addresses the issue of air quality in the city of Kinshasa, capital of the
14 Democratic Republic of Congo. It is based on the study of the spatial distribution of
15 trace species such as NO₂ and CO in the communes of the city. The two species targeted
16 in our study are the major contributors to the degradation of air quality as promulgated
17 by the World Health Organization. Real-time monitoring of the chemical concentration
18 of these species is highly recommended. Raw data were collected over three days, using
19 mobile measurements in a car. The chemical concentration of NO₂ was sampled using the

*. Corresponding author: holyholenu@gmail.com

20 DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) system and its spatial distribution
21 was carried out using GPS surveys. The result of our study showed that the commune of
22 Limete and La Gombe (heavy goods vehicle road) are much more affected by NO₂ pollution,
23 followed by large crossroads with areas of intense commercial activity such as the commune
24 of Mont ngafula (Matadi mayo market) or the Ngaba traffic circle. The CO concentration
25 was sampled using a low cost sensor, giving in situ measurements. The instrument used
26 being of low precision, the quantitative analysis of CO was not done. Nevertheless, the CO
27 signal was detected in almost all communes of the city of Kinshasa.

28
29 **Keywords** : Air pollution; Air quality; NO₂; DOAS measurements; Kinshasa city.

30 **Résumé**

31 Cette étude porte sur la question de la qualité de l'air dans la ville de Kinshasa, capitale
32 de la République Démocratique du Congo (RDC). Elle est basée sur l'étude de la répartition
33 spatiale des espèces en trace comme le NO₂ et le CO dans cette ville. Les deux espèces ciblées
34 dans cette étude, sont les marqueurs de la dégradation de la qualité de l'air tel que promulgué
35 par l'Organisation Mondiale de la Santé. La surveillance en temps réel de la concentration
36 chimique de ces espèces est fortement recommandée. Les données brutes ont été collectées
37 pendant trois jours, en effectuant des mesures mobiles à bord d'un véhicule. La colonne de
38 NO₂ a été prélevée grâce au système DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)
39 et sa répartition spatiale a été réalisée grâce aux levés GPS. Le résultat de cette étude a
40 montré que les communes de Limete et de la Gombe (tronçon poids lourds) sont beaucoup
41 plus frappées par la pollution en NO₂, suivi des grands carrefours avec des zones d'anima-
42 tion commerciale intense comme à la commune de Mont ngafula (marché Matadi mayo) ou
43 au rond-point Ngaba. La concentration en CO a été prélevée grâce à un capteur low cost,
44 donnant des mesures in situ. L'instrument utilisé étant de faible sensibilité, l'analyse quan-
45 titative de CO n'a pas été effectuée. Néanmoins, le signal de CO a été détecté dans presque
46 toutes les communes de la ville de Kinshasa.

47
48 **Mots clés** : Pollution de l'air ; Qualité de l'air ; NO₂, mesures DOAS, Ville de Kinshasa.

49 1 INTRODUCTION

50 Tout comme l'eau et le sol, l'air est un élément essentiel et vital pour tout être vivant (Vennin,
51 A. 2000). La question de sa qualité est d'une importance planétaire, mais en Afrique cette
52 question est peu ou pas du tout abordée. Or d'après l'Organisation Mondiale de la Santé « OMS »,
53 la pollution de l'air est à l'origine de près de 200.000 décès chaque année en Afrique (WHO, 2016).
54 Si cette question sur la dégradation de la qualité de l'air reste pendante, le continent Africain
55 atteindrait 600.000 décès en 2050. D'après la dernière base de données sur la qualité de l'air
56 en milieu urbain, 98 % des villes de plus de 100 000 habitants dans les pays à faible revenu ne
57 respectent pas les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air (IQAir, 2020). Les
58 lignes directrices de l'OMS en rapport avec l'évaluation de la qualité de l'air sont basées sur le
59 contrôle et la surveillance en temps réel de la concentration chimique des polluants comme les
60 particules matières (PM), l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), le monoxyde de carbone (CO),
61 le dioxyde de soufre (SO_2), le plomb (Pb) et autres. Les seuils en concentrations moyennes de
62 ces polluants de l'air sont règlementés et publiés chaque année dans les différents rapports de
63 l'OMS. La concentration annuelle de NO_2 ne doit pas dépasser la valeur de $40 \mu g/m^3$ (WHO,
64 2006) et l'exposition à des longues durées à ce seuil conduit à des maladies respiratoires et
65 cardiovasculaires. La norme pour l'Union européenne est fixée à $40 \mu g/m^3$. Ce polluant de l'air
66 a plusieurs sources d'émissions, dont les principales sont le trafic routier intense et les feux des
67 biomasses.

68 Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo « RDC », ville de près de 12
69 millions d'habitants (UN, 2016), est aussi fortement frappée par la pollution de l'air comme le
70 signale les rapports de l'OMS (WHO, 2019). La signature saisonnière du NO_2 est marquée par
71 un pic en saison sèche, observé depuis le satellite dans l'atmosphère de Kinshasa au cours des
72 dernières années. Cette pollution en NO_2 dans la ville de Kinshasa a été aussi observée depuis le
73 sol par Yombo et al. (2021) qui confirme aussi les pics en saison sèche. Dans cette ville, on observe
74 de forts embouteillages, pendant les heures de grand trafic automobile et le soir au coucher du

75 soleil. Le trafic routier est intense dans la ville de Kinshasa, avec presque 90 % de vieux véhicules
76 en mauvais état, ne disposant pas de pot catalytique ni d'autres dispositifs d'épuration de gaz. Et
77 ces véhicules utilisent de l'essence produite par la Compagnie Nationale de Raffinage (CORAF)
78 avec une teneur en plomb égale à 0,10 g/l, or il n'existe pas de seuil en-dessous duquel l'exposition
79 au plomb n'aurait pas d'effets nocifs (WHO, 2019).

80 Jusqu'à aujourd'hui les problèmes de dégradation de la qualité de l'air ont été très peu pris
81 en compte par les populations, les chercheurs et les autorités de Kinshasa. Le pouvoir publique
82 ne prend presque aucune décision allant dans le sens de freiner ce fléau qui a pourtant un impact
83 négatif démontré pour la santé de la population et sur l'environnement. La ville ne dispose même
84 pas d'une stratégie de collectes de données en rapport avec la pollution de l'air. Or, la gestion d'un
85 problème comme celui de la pollution de l'air passe obligatoirement par une bonne connaissance
86 du phénomène qui, selon les régions, varie. Cette connaissance passe par une collecte de données,
87 lesquelles seront utilisées principalement pour mener des études, qui par la suite serviront dans
88 le domaine de la prévention et de la gestion des épisodes de pics de pollutions (Yombo et al.,
89 2021).

90 Depuis Mai 2017, un système de télédétection atmosphérique a été installé sur le toit de la
91 faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa (UniKin) dans le cadre d'une collaboration avec
92 l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB). Cet instrument fourni des observations qui
93 après analyse et traitement renseignent sur les densités de la colonne verticale troposphérique
94 (VCDT : vertical column density tropospheric) de quelques molécules traces dont le NO₂. La
95 première étude basée sur cet instrument a été publiée par Yombo et al. (2021) montrant ainsi le
96 cycle saisonnier de cette molécule avec une valeur moyenne de VCDT estimée à 3×10^{15} molécules
97 cm⁻² entre 2017 et 2019. Le présent travail vient donc en complément aux observations faites par
98 l'instrument statique précité. Il vise à présenter les observations mobiles, collectées en parcourant
99 différents itinéraires routiers de la ville. Ainsi l'idée est de faire un état de lieu sur les situations
100 existantes dans différents coins de la ville pouvant affecter la qualité de l'air. Faute des moyens
101 adéquats, nous avons effectué 3 jours d'observations atmosphérique dans la ville de Kinshasa,

102 en utilisant les instruments basés sur spectroscopie d'absorption optique différentielle (DOAS :
103 Differential Optical Absorption Spectroscopy). Les instruments DOAS sont largement utilisés par
104 la communauté scientifique du monde entier pour mesurer les colonnes verticales troposphériques
105 de quelques gaz en trace absorbant dans la gamme spectrale de UV-Visible. Plusieurs études
106 utilisant la technique DOAS ont été faites pour mesurer la pollution atmosphérique dans les
107 grandes villes urbaines (Kramer et al. 2008; Gielen et al. 2017; Chen et al. 2009; Zhao et al.
108 2020; Ialongo et al. 2020; Friedrich et al. 2019). Nous utilisons donc la même technique dans
109 le présent travail pour mesurer les colonnes verticales troposphériques de NO₂ suivant quelques
110 itinéraires à trafic intense dans la ville de Kinshasa. Dans la section suivante (2), nous présentons
111 les matériels et la méthodologie d'extraction des VCDT du NO₂. La section 3 montre les résultats
112 des mesures mobiles, leur comparaison avec les observations satellitaires et une petite discussion
113 basée sur les caractéristiques de différentes sources de pollution observées dans les zones à pic
114 élevés, suivie des conclusions.

115 2 MATERIELS ET METHODES

116 2.1 Description du milieu d'étude

117 La ville de Kinshasa a aujourd'hui la forme d'une tortue géante dont la tête constitue la par-
118 tie urbanisée comprenant 22 communes avec une superficie totale est de 590 km² qui représente
119 seulement 6% de la superficie totale. Les 94 % qui restent du corps représentent les deux com-
120 munes urbano-rurales lesquelles s'étendent sur environ 9375 km². Il s'agit de N'sele et Maluku
121 plus une partie de la commune du Mont Ngafula, dans sa moitié Sud (Yina, 2016). Elle est située
122 entre 4°00' et 5°00' de latitude sud et entre 15°00' et 15°30' de longitude est avec (Elle est bornée)
123 au nord le fleuve Congo et le territoire de Mushie, au nord-est par les territoires de Bagata et de
124 Kenge, au sud les territoires de Popokabaka, Kimvula et Madimba, et à l'ouest le territoire de
125 Kasangulu (Figure 1).

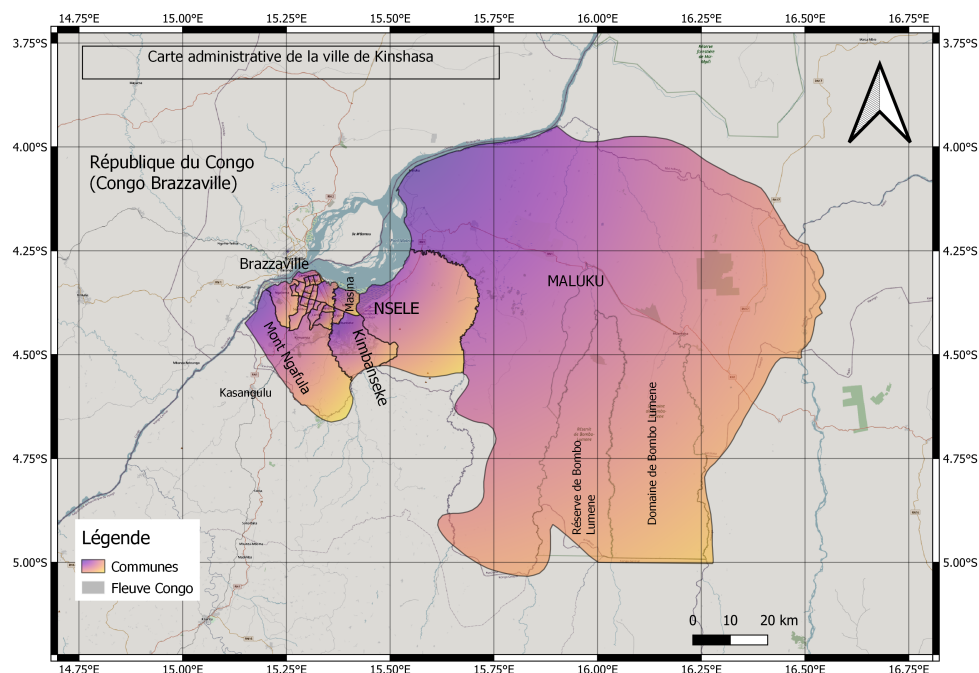


FIG. 1 – *Carte administrative de la ville Province de Kinshasa.*

126 2.2 Méthodologie

127 a. *Expérimentation et description des matériels*

128 Les mesures mobiles ont été effectuées dans la ville de Kinshasa pendant 2 jours du mois de
 129 Novembre 2019 (14 et 16ème jour, jeudi et samedi, soit un jour de semaine et le week-end) pour
 130 les mesures du NO₂ et 1 jour du mois de Février 2020 (6ème jour) pour les mesures du CO.
 131 Les mesures ont été faites à bord d'une voiture permettant de faire les mesures mobiles selon
 132 l'itinéraire montré sur la (Figure 2) et décrit dans le (Tableau 1). Le dispositif expérimental utilisé
 133 dans la prise de mesure du NO₂ est basé sur un spectromètre UV-VIS, un GPS, une fibre optique
 134 orientée au zénith et un ordinateur assurant le fonctionnement de tout le système et la sauvegarde
 135 des données mesurées chaque minute (Figure 3). Les équipements sont placés à bord d'une voiture
 136 permettant de faire les mesures mobiles. Le spectromètre UV-VIS est un spectromètre AVANTES
 137 qui couvre la gamme spectrale 290 - 550 nm avec 0.7 nm de résolution. Ce spectromètre est de
 138 type Czerny-Turner avec une focale de 75 mm, une fente d'entrée de 50 μm de largeur, et un
 139 réseau de 1200 l/mm. Ce type de spectromètre a été choisi pour sa gamme de longueurs d'onde
 140 qui correspond à la signature spectrale d'absorption du NO₂. Le spectromètre est directement

141 connecté à un ordinateur qui contrôle l'acquisition et l'enregistrement des spectres. Avec ce
142 système automatisé, nous pouvons enregistrer les données. Pour les mesures du CO, nous avons
143 utilisé un capteur Low cost.

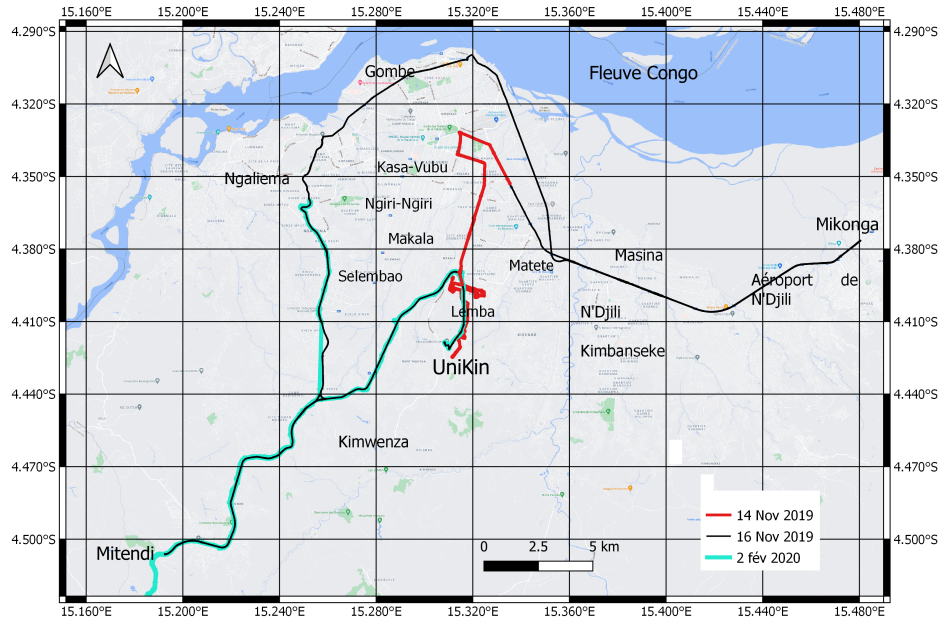


FIG. 2 – *Itinéraires parcourus pour la prise des mesures mobiles.*

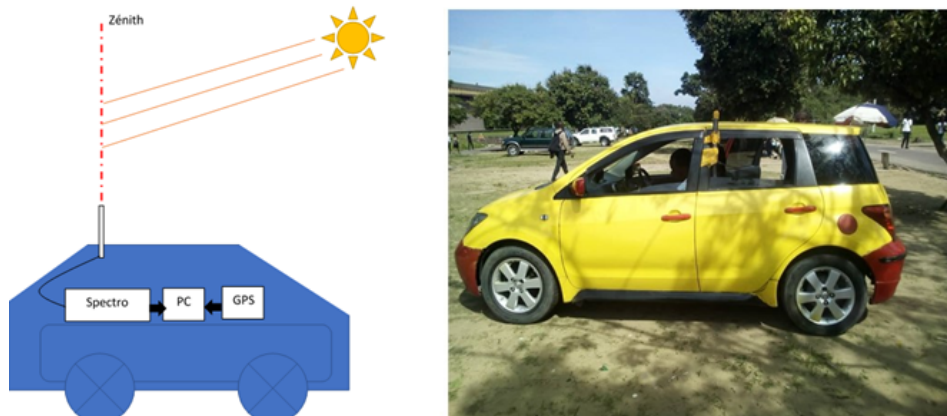


FIG. 3 – *Système mobile utilisé dans nos mesures.*

144 2.3 Détermination de la concentration de NO₂

145 Pour déduire les quantités ou les concentrations des différents polluants chimiques recherchés,
146 extraits à partir des données brutes enregistrées, nous avons utilisé le logiciel QDOAS. Le pro-

TAB. 1 – *Coordonnées temporelles et spatiales de la zone d'expérimentation.*

Jour	Intervalle de temps	Distance parcourue	Itinéraires et communes traversées
14 novembre 2019	13h-17h30	7km	UniKin (4.41°S, 15.31°E) limete échangeur (4.22°S, 15,20°E)
16 novembre 2019	13h-17h30	150km	UniKin (4.41°S, 15.31°E) Kasangulu (4.58°S,15.16°E) KitamboMagasin (4.33°S, 15,25°E) Gare centrale(4.18°S, 15.19°E) Kinkole(4.20°S, 15.30°E)
2 février 2020	13h-17h30	70km	UniKin (4.41°S, 15.31°E) Kasangulu (4.58°S,15.16°E) UPN ^a (4.40°S, 15,25°E) Lemba super(4.38°S, 15.33°E)

a. Université Pédagogique National

147 gramme QDOAS (Fayt et al., 2011), développé à IASB, procède à un ajustement par moindres
148 carrés multilinéaires permettant de déterminer les colonnes obliques de certaines espèce absor-
149 bant le long du trajet optique (Danckaert et al. 2017). Les paramètres de configuration du logiciel
150 QDOAS pour l'analyse de NO₂ sont celles exploitées aussi dans (Van Roozendael and Hendrick
151 2012) et présentés dans le tableau 2.

152 Le logiciel QDOAS, exploite les équations de la spectroscopie d'absorption différentielle
153 (DOAS : Differential Optical Absorption Spectroscopy) qui est basée sur la loi de Beer-Lambert
154 (Figure 4). D'après cette loi, il existe une relation linéaire entre le coefficient d'absorption d'un
155 signal lumineux qui traverse une cuve (un espace) et la concentration de l'espèce chimique ab-
156 sorbante que contient la cuve. Comme chaque type de molécule et chaque gaz dispose de sa

TAB. 2 – Paramètres utilisés dans la configuration du logiciel DOAS pour la récupération de la densité de la colonne oblique différentielle (en anglais, DSCD pour Slant Column Density) de NO_2 .

Paramètres	Configuration et sections efficaces utilisées
Intervalle d'extraction	425-490nm
Calibration	Chance and Kurucz (2010)
NO_2	Vandaele et al.(1998), 298K
O_3	Bogumil et al.(2003) , 223K
H_2O	Harder and Brault (1997)
O_4	Hermans et al.(2003)
Correction de l'effet ring	Chance and Spurr (1997)
Terme polynomiale	polynôme d'ordre 5
correction intensité Offset	Offset(constant), offset(ordre1) « Non-linéaire »

157 propre signature spectrale d'absorption optique, sorte d'empreinte digitale, il est possible de les
 158 identifier et d'en déterminer la concentration. Cette loi établit une relation entre la quantité de
 159 lumière absorbée par les molécules et le nombre de molécules présente dans le champ lumineux
 160 selon la relation (1).

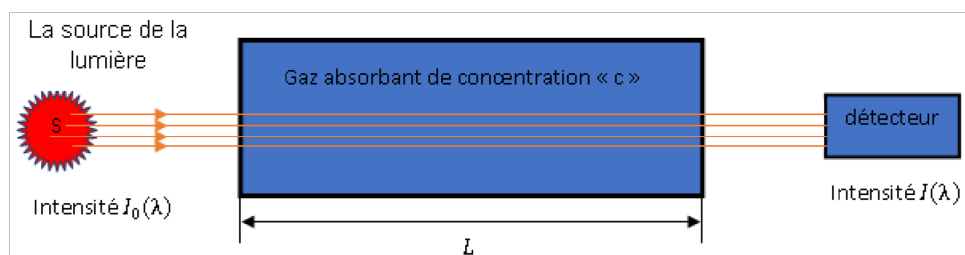


FIG. 4 – Illustration de la loi de Beer-Lamber (Yombo et al, 2019).

$$C.L.\sigma(\lambda) = \ln\left[\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}\right] \quad (1)$$

161 Où I_0 est l'intensité initiale, I est l'intensité de la radiation après passage à travers une épais-

162 seur L d'un absorbeur de concentration uniforme c , $\sigma(\lambda)$ est la section efficace de cet absorbeur.
 163 Si la longueur du chemin optique L est connue, on peut calculer la concentration c de l'espèce
 164 moléculaire le long du chemin optique. Il est à rappeler que dans le cas de l'atmosphère il y a
 165 plusieurs espèces présentes absorbantes, la loi de Beer Lamber telle que réellement exploitée dans
 166 QDOAS est donc modifiée, pour prendre en compte toutes les conditions physico-chimiques de
 167 l'atmosphère. La technique d'analyse est développée de façon approfondie par [Danckaert et al.](#)
 168 [\(2017\)](#) . L'analyse QDOAS nous fournit donc la DSCD qui est la différence entre les densités de
 169 colonne oblique total dans les spectres mesurés (SCD) et le spectre de référence SCD_{ref} .

$$DSCD = SCD - SCD_{ref} \quad (2)$$

170 la colonne oblique totale nommée SCD est la concentration de gaz intégrée sur le trajet
 171 optique dans l'atmosphère. La colonne oblique dépend de la longueur du chemin parcouru, de
 172 la géométrie d'observation et des conditions météorologiques (plus ou moins de diffusion selon
 173 la couverture nuageuse). On veut en dériver la colonne verticale (VCD pour Vertical Column
 174 Density), qui est la concentration de gaz intégrée sur un chemin vertical à travers l'atmosphère.
 175 La colonne verticale ne dépend plus du trajet des photons, ni de la géométrie d'observation et
 176 est donc la même pour toutes les élévations ; elle peut donc être comparée à d'autres mesures.
 177 On définit le facteur de proportionnalité entre SCD et VCD, par un facteur de masse d'air (AMF
 178 : Air Mass Factor):

$$VCD = \frac{SCD}{AMF} \quad (3)$$

179 La SCD totale contient la contribution de la partie troposphérique et stratosphérique de l'espèce
 180 ciblé Le NO_2 est présent dans la troposphère tout comme dans la stratosphère. L'expression
 181 de la SCD peut donc s'écrire comme la somme de la contribution troposphérique (SCD_{tropo}) et
 182 stratosphérique (SCD_{strato}) de la colonne oblique selon l'équation :

$$SCD = SCD_{tropo} + SCD_{strato} \quad (4)$$

183 En utilisant donc les équations (2) et (3), on peut facilement écrire l'expression (4) et en
184 déduire la quantité recherchée dans notre étude à savoir la colonne verticale troposphérique du
185 NO₂ telle que donnée dans l'équation (5).

$$VCD_{tropo} * AMF_{tropo} = SCD - SCD_{strato} \quad (5)$$

186 A partir de l'équation on peut déduire la quantité recherchée selon l'équation :

$$VCD_{tropo} = \frac{SCD - SCD_{strato}}{AMF_{tropo}} \quad (6)$$

187 Dans notre étude, nous avons donc exploité l'équation (5) pour extraire les colonnes ver-
188 ticales troposphériques de NO₂ dans les mesures mobiles effectuées dans la ville de Kinshasa.
189 La SCD_{strato} utilisée pour chaque jour de mesure a été déduite des observations du satellite
190 TROPOMI au-dessus de Kinshasa. Les AMF_{tropo} et la SCD_{ref} utilisés dans la présente étude
191 ont été obtenus de la même manière que dans [Yombo et al. \(2021\)](#) qui avait trait à des me-
192 sures réalisées dans la même ville. Un algorithme a été donc développé, résolvant l'équation (5)
193 dans l'objectif d'extraire l'information de la concentration verticale troposphérique de NO₂. Cet
194 algorithme est directement inspiré des recherches menées par [Yombo et al. \(2021\)](#). Le Global
195 Positionning System (GPS) a servi à la localisation du site, de même qu'un décamètre, une
196 boussole, un carnet de terrain. Les logiciels de cartographie Arcgis, Arcmap, Qgis, de traitement
197 de textes (MS Word) et de Graphiques (python) ont été utilisés.

198 3 RESULTATS ET DISCUSSION

199 3.1 Résultat

200 Les [Figures 5 et 6](#) montrent les différentes valeurs de NO₂ mesurées le 14 et le 16 novembre
201 2019 dans la ville de Kinshasa.

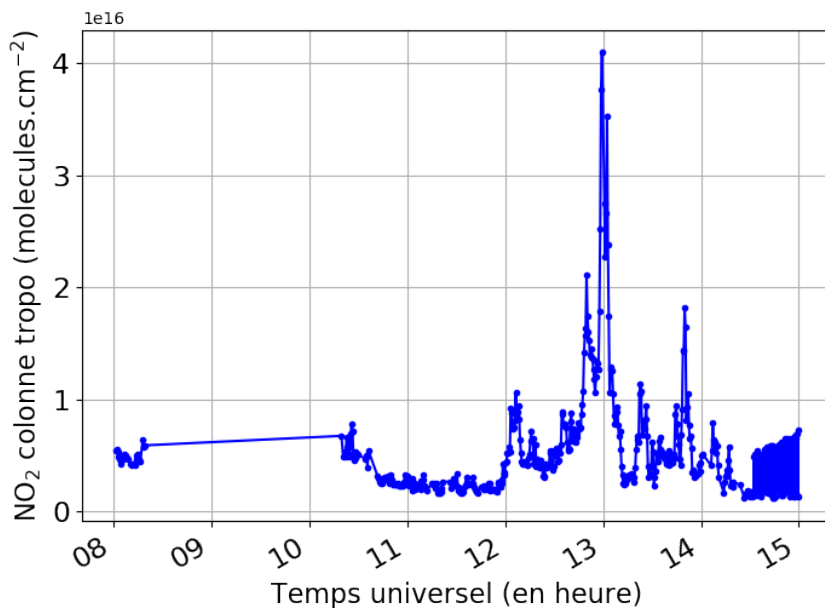


FIG. 5 – *Colonne verticale troposphérique de NO₂ mesurée dans les communes de la ville de Kinshasa le 16 novembre 2019 entre 8h et 15h UT.*

202 La Figure 5 montre les concentrations du NO₂ troposphérique dérivé des mesures mobile du
 203 16 novembre 2019 en fonction des points de mesure montrent que le premier pic de NO₂ a été
 204 enregistré au rond-point Ngaba (Figure 6), un carrefour caractérisé par un trafic routier intense.
 205 Le même comportement a été observé dans tous les autres carrefours de la ville de Kinshasa. Le
 206 pic le plus marquant a été enregistré aux alentours de Kingabwa entre 12h30 et 13h10.

207 Le 14 novembre 2019, nous avons aussi effectué des mesures dans la commune de Limete,
 208 quartier industriel. La présence des industries dans cette zone nous a motivé de faire les mesures
 209 statiques pour essayer de comprendre l'impact de la présence des activités industrielles dans la
 210 chaîne d'émission des polluants de l'air à Kinshasa. Les résultats montrés sur les Figures 6 et 7
 211 attestent qu'il y a bien une forte émission de NO₂ dans cette zone. Les valeurs les plus élevées
 212 observées dans cette zone industrielle sont parfois 4 fois supérieures à celles observées dans les
 213 autres coins de la ville. La Figure 7 montre la distribution spatiale de NO₂ qu'enregistrée et
 214 plotée dans les Figures 5 et 6. L'analyse cartographique de la concentration de l'air de Kinshasa
 215 en dioxyde d'azote nous montre quatre zones dont les zones les plus susceptibles sont en couleurs

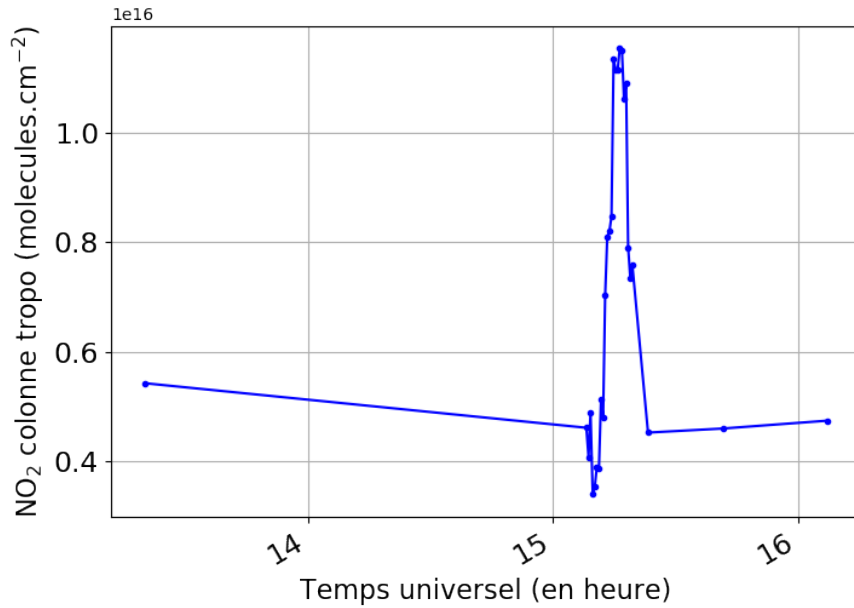


FIG. 6 – *Colonne verticale troposphérique de NO₂ mesurée dans la commune de Masina à Pascal le 14 novembre 2019 entre 13h et 14h UT.*

216 rouge et orange. Ces zones sont : Rond-point Ngaba, Marché de Matadi Kibala, le rond-point
 217 UPN, le carrefour de Kintambo Magasin, Entrée Poids Lourds, Marché de Liberté, Les valeurs
 218 de NO₂ les plus hautes sont comprises entre 2 et 15 × 10¹⁵ molecules cm⁻². Outre les mesures
 219 faites sur le NO₂, nous avons aussi effectué des mesures sur le monoxyde de carbone (CO) qui
 220 est l'une des espèces influençant la qualité de l'air. L'instrument utilisé pour ces mesures étant
 221 peu sensible, nous n'avons pas pu produire un résultat quantitatif du CO cependant le signal
 222 électrique tel que délivré par le petit capteur confirme la présence de cette espèce dans la ville
 223 de Kinshasa.

224 3.2 Discussion

225 a. Estimation qualitative des sources

226 Dans cette sous-section, nous discutons des éventuelles causes pouvant créer les différents
 227 pics de pollution du NO₂, observés dans différentes communes de la ville de Kinshasa. Nous

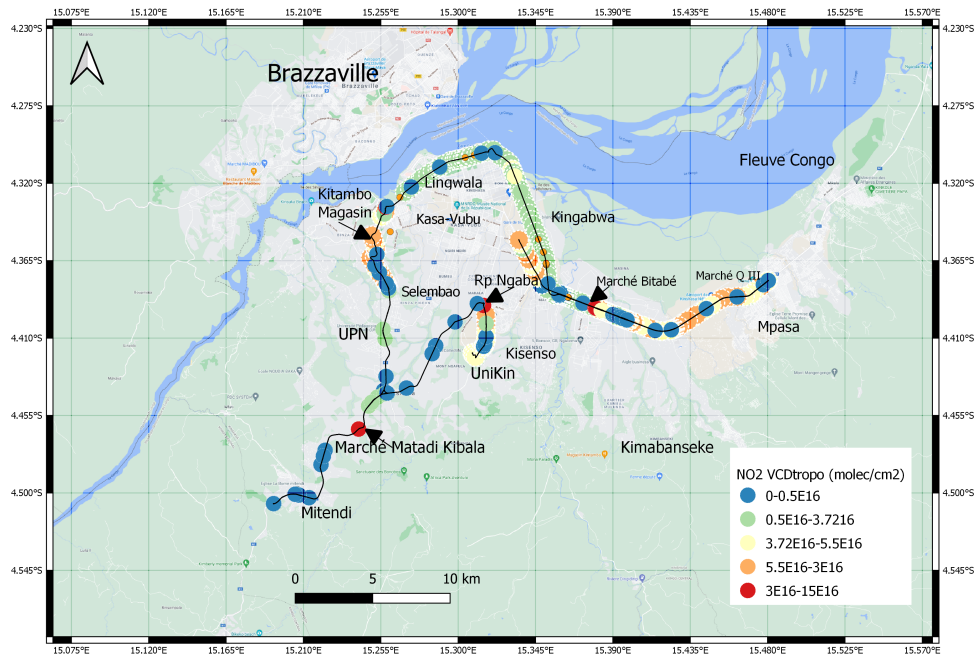


FIG. 7 – Répartition spatiale et localisation des zone à forte concentration en NO_2 à Kinshasa.

228 tacherons de montrer aussi les limites de validation de résultats obtenus par différentes interpré-
 229 tations physico-chimique du comportement de l'espèce mesuré. Nous donnerons aussi quelques
 230 comparaisons entre les résultats obtenus dans cette étude et ceux observés dans quelques autres
 231 villes Africaines ou européennes.

232 La quantification des sources d'émissions et leurs contributions dans les observations réalisées
 233 lors d'une étude de pollution nécessite l'utilisation des outils comme des modèles atmosphériques
 234 de chimie-transport ou encore des études statistiques dites « bottom up ». Ne disposant pas des
 235 moyens nécessaires pour arriver à exploiter les outils et techniques précitées, nous nous sommes
 236 limités à décrire de manière synthétique les quelques phénomènes observées dans les lieux où les
 237 pics de pollution ont été détecté. Le tableau suivant donne de manière générale et descriptive les
 238 sites où les pics les plus élevés ont été observés, avec quelques caractéristiques des phénomènes
 239 observés.

240 En analysant le **Tableau 3**, on remarque qu'il y a 7 zones à pics élevés de pollution en NO_2 ,
 241 observés pendant nos mesures. Ces pics de pollution sont aussi visibles à partir de l'espace via les
 242 observations du satellite Tropomi SP5, tel que montré dans la figure 8. Les valeurs de satellite

TAB. 3 – *Présentation des caractéristiques des sites à pics de pollutions élevés.*

La colonne du milieu présente les valeurs moyennes de VCDtropo observées sur et aux alentours des sites présentés dans la colonne 1)

Site	VCDtropo (en molécules cm ⁻²)	Caractéristique du site
Rond point Ngaba	15 × 10 ¹⁵	- Embouteillage (trafic routier intense) - Présence des véhicules dégageant de la fumée - Arrêts de bus
Marché Matadi Kibala	13 × 10 ¹⁵	- Embouteillage (trafic routier intense) -Présence des véhicules dégageant de la fumée - Arrêts de bus
Carrefour UPN	14 × 10 ¹⁵	- Embouteillage (trafic routier intense) - Présence des véhicules dégageant de la fumée - Arrêts de bus
Kitambo Magasin	10 × 10 ¹⁵	- Embouteillage (trafic routier intense) - Arrêts de bus
Limete industrielle	10 × 10 ¹⁵	trafic routier intense zone industrielle
Marché Liberté	12 × 10 ¹⁵	- Embouteillage (trafic routier intense) - Présence des véhicules dégageant de la fumée -Présence des véhicules dégageant de la fumée - Arrêts de bus

243 sont présentées en pixels rectangulaires. TROPOMI est un spectromètre d'imagerie au nadir à
244 bord du satellite Sentinel-5 Precursor. Il mesure la lumière solaire réfléchiée dans les ultraviolettes,

245 visible, proche infrarouge et infrarouge à ondes courtes (Veeffkind et al. 2012). Avec une largeur
 246 de la fauchée de 2600 km, il peut couvrir l'ensemble de la planète en une seule journée avec une
 247 taille de pixel de 5,5 km x 3,5 km au nadir réel dans les bandes UV/VIS/proche-infrarouge. Nous
 248 avons utilisé des images retraitées (RPRO ; v0102). Les 7 zones présentent des caractéristiques
 249 semblables en liaison directe avec le trafic routier intense. On observe aussi un autre phénomène
 250 des combustion de la biomasse en complément du phénomène de trafic routier intense dans ces
 251 six zones. Le NO₂ est présentée dans la littérature comme une espèce ayant pour sources dans
 252 l'air ambiant, la combustion automobile, industrielle et thermique. D'autres sources d'origine
 253 naturelle sont par exemple la foudre et les émissions dans le sol.

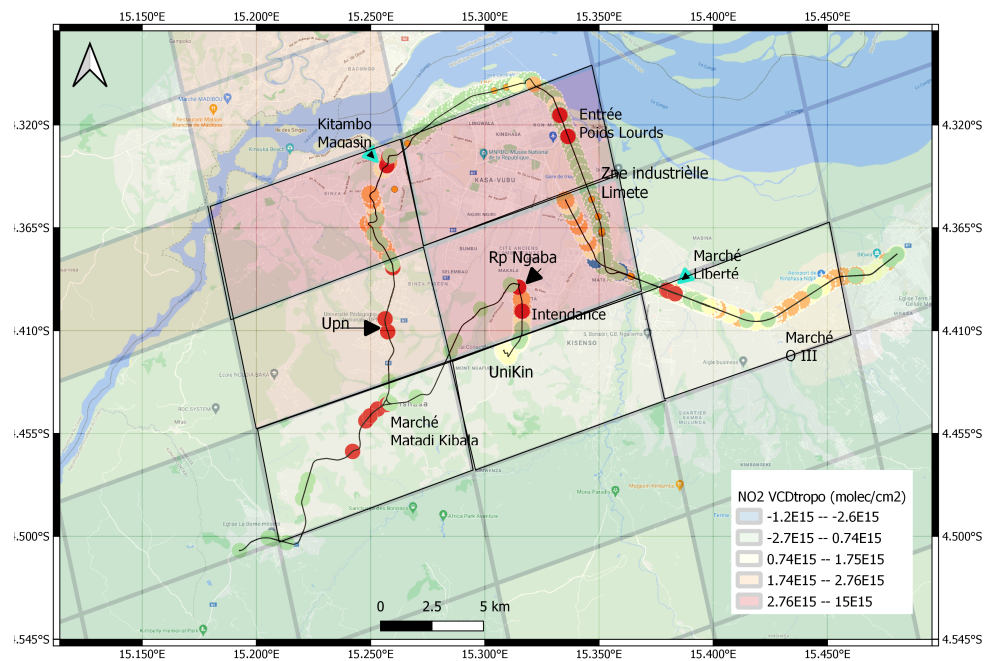


FIG. 8 – *Comparaison entre les observations mobiles au sol du NO₂ et les observations du satellite Tropomi SP5 pour la journée du 14 Novembre 2019.*

254 Dans notre cas, il s'avère clair que les valeurs des pics observés dans ces zones proviennent du
 255 trafic routier intense, dominé essentiellement par des véhicules vétustes dégageant de la fumée
 256 (Figure 9)

257 Il sied de signaler ici que les phénomènes observés dans ces zones sont répétitifs pendant toute
 258 l'année. Il arrive parfois que l'intensité de ces mêmes phénomènes puissent augmenter de manière



FIG. 9 – *Véhicules fumant en circulation à Kinshasa.*

259 significative surtout aux heures de pointes (11h-13h et 16h-18h). Le phénomène étant répétitif
260 chaque année dans ces sites, nous pouvons tenter de confirmer que les résultats observés dans
261 cette étude restent valables tout au long de l'année et pourrait même être projetés jusqu'aux
262 années futures surtout si les conditions demeurent inchangées.

263

264 *b. Limite de validité des résultats*

265

266 Les résultats présentés dans cette étude ne couvrent que 3 jours de mesures. On serait tenté
267 de limiter les interprétations à ces trois jours uniquement dans le but d'être cohérent dans la
268 prise de position. Et ceci est vrai dans le cas où la situation locale en termes des caractéris-
269 tiques présentées dans le tableau 2 des sites observés reste inchangée. Or dans la sous-section
270 précédente, nous avons signalé l'aspect répétitif des phénomènes observés sur ces sites à pic de
271 pollution élevé. Cet aspect répétitif peut nous donner avantage de prédire la situation future de la
272 pollution à ces endroits en se basant juste sur nos résultats actuels. Les valeurs observées peuvent
273 fortement varier au cours de la journée mais pas forcément pendant les heures des pointes. Il

274 serait sans doute encourageant de faire des observations statiques pendant des longues périodes
275 sur ces sites pollués afin de pouvoir compléter les démarches pilotes entamées dans cette étude
276 et de mesurer les concentrations in situ.

277

278 *c. Comparaison avec les autres villes*

279

280 Plusieurs grandes villes Africaines sont aussi frappées par la pollution de l'air. Les éventuelles
281 sources émettrices de cette pollution sont généralement de mêmes natures que celles que nous
282 avons évoqué dans cette étude. Une étude menée dans deux grandes villes d'Uganda (Kampala
283 et Jinja) stipule que les sources de la pollution influençant la qualité de l'air observées dans ces
284 deux villes sont dues aux émissions des véhicules, la poussière remise en suspension sur les routes
285 non pavées, la fumée provenant de l'utilisation de la biomasse à l'intérieur des habitations et du
286 brûlage des ordures, ainsi que les sites industriels (J. Bruce et al., 2015; Marais et al., 2016) dans
287 son étude sur les inventaires d'émission en Afrique démontre que la pollution anthropique en
288 Afrique est dominée par des sources de combustion diffuses et inefficaces, car l'accès à l'électri-
289 cité est faible et les motos et les voitures vétustes prolifèrent. On voit clairement que la situation
290 de Kinshasa serait presque pareille à quelques villes présentées discutées dans ce travail.

291 **4 CONCLUSION**

292 Le travail présenté dans cette étude consiste en état de lieux sur la problématique liée à la
293 qualité de l'air dans la ville de Kinshasa. La thématique développée est mal connue dans cette
294 ville et fait l'objet d'aucune attention particulière de la part des scientifiques et des décideurs
295 politiques. Il était donc nécessaire de présenter une étude pilote, pouvant être utilisée comme
296 support pour la sensibilisation de la population locale et de la communauté politique. La même
297 étude peut être utilisée comme point de départ dans le cas où on décide d'approfondir le sujet.

298 Les espèces ciblées dans cette étude à savoir le NO₂ et le CO font partie des gaz dite polluants,

299 détruisant la composition naturelle de l'atmosphère terrestre. Elles contribuent fortement à la
300 dégradation de la qualité de l'air conduisant ainsi à des maladies mortelles. Nous avons effectué
301 les observations de télédétection atmosphériques pour sonder le niveau de pollution de quelques
302 communes de la ville de Kinshasa. Les mesures et l'analyse des spectres collectés sont basées
303 sur la technique dite DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy), une technique bien
304 connue dans la communauté scientifique mondiale et utilisée ce dernier temps pour la mesure
305 des polluants atmosphériques dans les grandes villes. Un capteur low cost a été utilisé aussi pour
306 mesurer la teneur en CO dans la ville de Kinshasa.

307 Afin de prendre en compte la distribution spatiale des espèces ciblées, nous avons jugé bon
308 de faire des observations mobiles, à bord d'une voiture pendant deux jours pour la mesure du
309 NO₂ (14 novembre et 16 novembre 2019) et un jour pour le CO (06 Février 2020). Les résultats
310 de l'ensemble d'étude sur la pollution en dioxyde d'azote (NO₂) montrent que les zones à trafic
311 routier intense sont beaucoup plus impactées par les valeurs plus grandes de NO₂. Ces zones
312 sont : les carrefours de Rond-point Ngaba, de l'UPN, de Matadi Kibala et de Bitabe. Les régions
313 industrielles des communes de la Gombe, et de Limete, ont particulièrement attiré notre attention
314 dans le sens où les valeurs observées dépassaient fortement celles observées dans d'autres coins
315 de la ville. Nous avons remarqué aussi que la teneur en NO₂ était moins importante dans les
316 parties de la ville à trafic fluide, ou les activités de commerces ne gênent pas la bonne circulation
317 des véhicules, et où on ne retrouve pas les quelques industries de la ville. Le petit capteur Low
318 cost utilisé pour mesurer la teneur en CO ne nous a pas permis de quantifier les valeurs détectées
319 mais le signal enregistré lors de mesures montre bel et bien qu'il y a la présence de CO dans la
320 ville de Kinshasa. Les valeurs de colonne troposphérique observées dans ces zones varient de 3
321 à 15×10^{15} molécules cm⁻². Une comparaison simple avec les observations du satellite Tropomi
322 SP5 démontre combien ces pics de pollution sont intenses et visibles à partir de l'espace aussi.

323 Quant à l'évaluation des sources pouvant conduire aux pics des pollutions observés, il nous
324 ai semblé claire d'analyser les quelques phénomènes caractérisant les sites à pics de pollution
325 élevés. Après constat personnelle basé sur l'observation, nous avons trouvé que ces sites sont

326 impactés par la présence du trafic routier intense dominé par la présence des véhicules vétustes,
327 les embouteillages, le dégagement de la fumée en provenance de feux des déchets domestiques.
328 Ces caractéristiques reflètent bien les sources des espèces étudiés dans notre travail telle que
329 décrite dans la littérature. Une petite étude comparative a été faite pour voir ce qui se passe
330 dans quelques autres villes d'Afrique. Nous avons constaté que les milieux exposés à des pics
331 élevés du NO₂ sont de même nature que ceux existant à Kinshasa. Ces sites présentent les même
332 caractéristiques d'activités en terme du trafic routier intense et brulage de déchets ménagers.

333 Cette étude se présente donc dans la vision de donner un état de lieux sur le phénomène
334 de la pollution de l'air dans la capitale congolaise. Ce résultat test, de sondage, montre bien
335 que la ville est fortement polluée. Dans le futur, l'idéal est d'envisager l'intégration de plusieurs
336 stations, certaines fixes et d'autres mobiles pour la collecte en temps réel des données sur la
337 qualité de l'air. Ces observations sur la pollution de l'air peuvent bien être utilisée dans l'étude
338 sur l'aménagement des espaces dans l'objectif de rendre l'air de la ville plus propre. Les résultats
339 de cette étude ont montré aussi que l'un de facteur influençant cette pollution dans la ville de
340 Kinshasa est le trafic routier intense.

341 Ainsi donc, nous recommandons aux autorités urbaines ce qui suit : Aménager des gares-
342 routières, arrêts de bus et parkings afin de réduire les embouteillages dans la ville ; Réduire
343 l'importation des vieux véhicules dans la ville de Kinshasa ; **imposer** l'utilisation des dispositifs
344 d'épuration de gaz d'échappement des véhicules sur l'ensemble de la ville ; **instaurer** un système
345 de circulation alternée ; **faire** la promotion des transports de masse ; **installer** plusieurs stations de
346 mesure des polluants atmosphériques à travers la ville ; **faire** plus des vulgarisations médiatiques
347 du phénomène de la pollution de l'air ; **mettre** en place un système efficace de gestion des poubelles
348 et immondices. Néanmoins, le champ d'étude reste encore vaste pour arriver à mettre en place les
349 recommandations fournies dans ce travail. Nous recommandons vivement de continuer à mener
350 des études plus approfondies dans ce domaine de pollution de l'air dans toutes les cités et villes
351 de la RDC afin d'arriver à une base de données efficaces pouvant aider à la prise de décision.

352 Références

- 353 [1] A. Vennin (2000). La qualité de l'air, normes et procédures, Imprimerie Nationale Paris.
- 354 [2] A.C. Vandaele, C. Hermans, P.C. Simon, M. Carleer, R. Colin, S. Fally, M.F.
355 Mérienne, A. Jenouvrier and B. Coquart (1998). Measurements of the NO₂ absorp-
356 tion cross-section from 42 000 cm² to 10 000 cm² (238–1000 nm) at 220K and
357 294 K, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, (157), 167-184,
358 [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(03\)00062-5](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(03)00062-5)
- 359 [3] B. Kirenga, J., Q. Meng, F. van Gemert, H. Aanyu-Tukamuhebwa, N. Chavannes,
360 A. Katamba, G. Obai, T. Van der Molen, S. Schwander, V. Mohsenin (2015).
361 The State of Ambient Air Quality in Two Ugandan Cities: A Pilot Cross-Sectional
362 Spatial Assessment, Int. J. Environ. Res. Public Health 2015, 12, 8075-8091,
363 <https://doi:10.3390/ijerph120708075>
- 364 [4] B. Sportise (2008). Pollution atmosphérique. Des processus à la modéli-
365 sation, collection « Ingénierie et développement durable, Springer, 345p,
366 <http://journals.openedition.org/developpementdurable/5103>
- 367 [5] C. Hermans, A. C. Vandaele, S. Fally, M. Carleer, R. Colin, B. Coquart, A. Jenouvrier and
368 M.-F. Merienne (2003). Absorption cross-section of the collision-induced bands of oxygen
369 from the UV to the NIR. Weakly Interacting Molecular Pairs: Unconventional Absorbers
370 of Radiation in the Atmosphere, C. Camy-Peyret and A. A. Vigasin, Eds., NATO Science
371 Series IV, 27, Springer, 193–202, <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0025-316>
- 372 [6] C. Gielen, C. Hendrick, G. Pinardi, I. De Smedt, C. Fayt, C. Hermans, T. Stavrakou, M.
373 Bauwens, J-F. Muller, E. Ndenzako, P. Nzohabonayo, R. Akimana, S. Niyonzima, M. Van
374 Roozendael and M. De Maziere (2017). Characterisation of central-African aerosol and trace-
375 gas emissions based on MAX-DOAS measurements and model simulations over Bujumbura,
376 Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2016-1104>
- 377 [7] D. Chen, B. Zhou, S. Beirle, L. M. Chen and T. Wagner (2009). Tropospheric

- 378 NO₂ column densities deduced from zenith-sky DOAS measurements in Shanghai,
379 China, and their application to satellite validation, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 3641–3662,
380 <https://doi.org/10.5194/acp-9-3641-2009>
- 381 [8] E. Marais C. Wiedinmyer (2016). Air Quality Impact of Diffuse and Inefficient Combustion
382 Emissions in Africa (DICE-Africa), *Environmental science technology*. **50(19)**, 10739-
383 10745, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02602>
- 384 [9] I. Ialongo, H. Virta, H. Eskes, J. Hovila, and J. Douros (2020). Comparison of
385 TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in
386 Helsinki, *Atmos. Meas. Tech.*, **13**, 205–218, <https://doi.org/10.5194/amt-13-205-2020>
- 387 [10] IQAir (2020). World Air Quality Report, (August), 1–41 [online] Available from:
388 <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2020-en.pdf>.
- 389 [11] J.W. Harder and J. W. Brault (1997). Atmospheric measurements of water vapor in the
390 442-nm region, *J. Geophys. Res.*, **102**, 6245–6252, <https://doi.org/10.1029/96jd01730>
- 391 [12] J.P. Veefkind, I. Aben, K. McMullan, H. Förster, J. de Vries, G. Otter, J. Claas, H.J. Eskes,
392 J.F. de Haan, Q. Kleipool, M. van Weele, O. Hasekamp, R. Hoogeveen, J. Landgraf, R. Snel,
393 P. Tol, P. Ingmann, R. Voors, B. Kruizinga, R. Vink, H. Visser, P.F. Levelt, TROPOMI
394 on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmos-
395 pheric composition for climate, air quality and ozone layer applications, *Remote Sensing of*
396 *Environment*, (**120**), 70-83, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
- 397 [13] K. Bogumil, J. Orphal, T. Homann, S. Voigt, P. Spietz, O.C Fleischmann, A. Vogel, M.
398 Hartmann, H. Kromminga, H. Bovensmann, J. Frerick, J.P Burrows (2003). Measurements
399 of molecular absorption spectra with the SCIAMACHY pre-flight model: instrument cha-
400 racterization and reference data for atmospheric remote-sensing in the 230–2380 nm re-
401 gion, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **157**, Pages 167-184,
402 [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(03\)00062-5](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(03)00062-5)
- 403 [14] K. V. Chance and R. J. D. Spurr (1997). Ring effect studies: Rayleigh scattering, including
404 molecular parameters for rotational Raman scattering, and the Fraunhofer spectrum, *Appl.*

- 405 Opt., **36**, 5224–5230, <https://doi.org/10.1364/AO.36.005224>
- 406 [15] K.V. Chance and R. L. Kurucz (2010). An improved high-resolution solar reference spectrum
407 for Earth’s atmosphere measurements in the ultraviolet, visible, and near infrared, *J. Quant.*
408 *Spectrosc. Radiat. Transfer*, **111**, 1289–1295, <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2010.01.036>
- 409 [16] L.J. Kramer, R. J. Leigh, J. J. Remedios, and P. S. Monks (2008). Comparison of OMI and
410 ground-based in situ and MAXDOAS measurements of tropospheric nitrogen dioxide in an
411 urban area, *J. Geophys. Res.*, **113**, <https://doi.org/10.1029/2007JD009168>
- 412 [17] M. Friedrich, C. Rivera, W. Stremme, Z. Ojeda, J. Arellano, A. Bezanilla, J. A.
413 García-Reynoso and M. Grutter (2019). NO₂ vertical profiles and column densities
414 from MAX-DOAS measurements in Mexico City, *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 2545– 2565,
415 <https://doi.org/10.5194/amt-12-2545-2019>
- 416 [18] P.D.M.C Katoto, L. Byamungu, A.S. Brand, J. Mokaya, H. Strijdom, N. Goswami,
417 P. De Boever, T.S. Nawrot and B. Nemery (2019). Ambient air pollution and
418 health in Sub-Saharan Africa: Current evidence, perspectives and a call to action,
419 Current evidence, perspectives and a call to action, *Environ. Res.*, **173**, 174–188,
420 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.029>
- 421 [19] R. Yombo Phaka, G. Pinardi, A. Merlaud, C. Fayt, M. Van Roozendael and J-P. Mbungu
422 Tsumbu (2019). Télédétection de la pollution en dioxyde d’azote et en formaldéhyde dans
423 l’atmosphère de Kinshasa à partir d’une station de mesure des polluants atmosphériques,
424 *Ann. LA Fac. DES Sci*, (**1**), 11–24.
- 425 [20] T. Danckaert, C. Fayt, M. Van Roozendael, I. De Smedt, V. Letocart, A. Merlaud, and G.
426 Pinardi (2017). QDOAS software user manual. Royal Belgian Institute for Space Aeronomy
427 (BIRA) Doc., 71 pp.
- 428 [21] UN (2016). The world’s cities in 2016, UN Dept. of Economic and Social Affairs Data
429 Booklet, 29 pp.
- 430 [22] WHO (2006). Air quality guidelines for Europe, WHO Tech. Rep., 288 pp.
- 431 [23] WHO (2014). World Air Quality Report, World Air Qual. Rep., 1–22

- 432 [24] WHO (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease,
433 Geneva, Switzerland. [online] Available from: <http://www.who.int>
- 434 [25] X. Zhao, D. Griffin, V. Fioletov, C. McLinden, A. Cede, M. Tiefengraber, M. Muller,
435 K. Bogner, K. Strong, F. Boersma, H. Eskes, J. Davies, A. Ogyu and S.C. Lee (2020).
436 Assessment of the quality of TROPOMI high-spatial-resolution NO₂ data products
437 in the greater Toronto area, Atmospheric Measurement Techniques, **(13)**, 2131–2159,
438 <https://doi.org/10.5194/amt-13-2131-2020>.
- 439 [26] Yombo Phaka, R., Merlaud, A., Pinardi, G., Mahieu, E., Hendrick, F., Friedrich, M. M.,
440 Fayt, C., Van Roozendaal, M., Djibi, B. L., Bopili Mbotia Lepiba, R., Phuku Phuati, E. and
441 Mbungu Tsumbu, J.-P (2021) : *First GroundBased Doas Measurements of NO₂ At Kinshasa*
442 *and Comparisons With Satellite Observations*, J. Atmos. Ocean. Technol., **(2)**, 1291–1304,
443 <https://doi.org/doi:10.1175/jtech-d-20-0195.1>

444 **REMERCIEMENTS**

445

446 – Nous remercions le Bureau de la Politique Scientifique Fédérale Belge (BELSPO), et le
447 Projet KinAERO pour leur soutien financier en rapport avec l’instrument DOAS et la disponibi-
448 lité des données satellite. Nous tenons à remercier particulièrement Emmanuel Mahieu chercheur
449 associé principal au F.R.S. – FNRS, Alexis Merlaud et Gaia Pinardi chercheurs à l’Institut royal
450 d’Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) pour leur aide et leurs suggestions pertinentes lors de
451 la rédaction de cet article.

452 – Nous remercions l’unité de recherche (UR-GUEF: Gestion Urbaine, Environnement et Foncière),
453 dirigée par le Professeur Holenu Mangenda pour la mise en disponibilité de la voiture.

454 **COMITÉ DE LECTURE**

455

456 1. Professeur Louis Bernard Tchuikoua: Ecole Supérieure Nationale de Yaoundé/Cameroun E-
457 mail: tchuikoua@yahoo.fr

458 2. Professeur Lelo Nzuzi Francis: Université de Kinshasa/RDCongo, E-mail: lelonzuzi@gmail.com

459 3. Professeur ISAAC DIANSAMBU: Ecole Régionale d'Amenagement des forets tropicales/RDCongo

460 E-mail: i.diansambu@eraift-rdc.org