



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, Jules Aloni Komanda, Ruffin Bakambana Ndambi

► To cite this version:

Rodriguez Yombo Phaka, Holy Holenu Mangenda, Alexis Vuni Simbu, Jules Aloni Komanda, Ruffin Bakambana Ndambi. PROBLEMATIQUE DE LA DEGRADATION DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LA VILLE DE KINSHASA. 2021. hal-03274352v3

HAL Id: hal-03274352

<https://hal.science/hal-03274352v3>

Preprint submitted on 17 Nov 2021 (v3), 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 DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LA VILLE DE**
2 **KINSHASA**

3 **[Première campagne de mesures mobiles]**

4
5 **YOMBO PHAKA Rodriguez^(1,3), HOLENU MANGENDA Holy⁽²⁾, VUNI SIMBU Alexis⁽²⁾, ALONI**
6 **KOMANDA Jules⁽²⁾, BAKAMBANA NDAMBI Ruffin⁽²⁾**

- 7
8 *1. Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département de Physique, B.P. 190, Kinshasa XI,*
9 *R.D. Congo*
10 *2. Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Géosciences, B.P. 190,*
11 *Kinshasa XI, R.D. Congo*
12 *3. 3. Institut d'Astrophysique et de Geophysique, UR SPHERES, Université de Liège, Liège,*
13 *Belgique*

14
15 **holyholen@gmail.com, vunitresor@gmail.com, rodriguez2yombe@gmail.com**
16

17 **RESUME**

18 Cette étude porte sur la question de la qualité de l'air dans la ville de Kinshasa, capitale de la
19 République Démocratique du Congo (RDC). Elle est basée sur l'étude de la répartition spatiale des
20 espèces en trace comme le NO₂ et le CO dans cette ville. Les deux espèces ciblées dans cette étude,
21 sont les **marqueurs** contribuant de la dégradation de la qualité de l'air tel que promulgué par
22 l'Organisation Mondiale de la Santé. La surveillance en temps réel de la concentration chimique de ces
23 espèces est fortement recommandée. Les données brutes ont été collectées pendant trois jours, en
24 effectuant des mesures mobiles à bord d'une voiture. **La colonne** de NO₂ a été prélevée grâce au
25 système DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) et sa répartition spatiale a été réalisée
26 grâce aux levés GPS. Le résultat de cette étude a montré que les communes de Limete et de la

27 Gombe (tronçon poids lourds) sont beaucoup plus frappées par la pollution en NO₂, suivi des grands
28 carrefours avec des zones d'animation commerciale intense comme à la commune de Mont ngafula
29 (marché Matadi mayo) ou au rond-point Ngaba. La concentration en CO a été prélevée grâce à un
30 capteur LOW Cost, donnant des mesures in situ. L'instrument utilisé étant de faible **sensibilité**,
31 l'analyse quantitative de CO n'a pas été faite. Néanmoins, le signal de CO a été détecté dans presque
32 toutes les communes de la ville de Kinshasa.

33

34 **Mots clés** : Pollution de l'air ; Qualité de l'air ; **NO₂ ; mesures DOAS ;** Ville de Kinshasa

35

36 **ABSTRACT**

37 This study addresses the issue of air quality in the city of Kinshasa, capital of the Democratic Republic
38 of Congo. It is based on the study of the spatial distribution of trace species such as NO₂ and CO in the
39 communes of the city. The two species targeted in our study are the major contributors to the
40 degradation of air quality as promulgated by the World Health Organization. Real-time monitoring of
41 the chemical concentration of these species is highly recommended. Raw data were collected over
42 three days, using mobile measurements in a car. The chemical concentration of NO₂ was sampled using
43 the DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) system and its spatial distribution was
44 carried out using GPS surveys. The result of our study showed that the commune of Limete and La
45 Gombe (heavy goods vehicle road) are much more affected by NO₂ pollution, followed by large
46 crossroads with areas of intense commercial activity such as the commune of Mont ngafula (Matadi
47 mayo market) or the Ngaba traffic circle. The CO concentration was sampled using a LOW Cost
48 sensor, giving in situ measurements. The instrument used being of low precision, the quantitative
49 analysis of CO was not done. Nevertheless, the CO signal was detected in almost all communes of the
50 city of Kinshasa.

51 **Keywords:** Air pollution; Air quality; **NO₂; DOAS measurements;** Kinshasa city

52

53 1. INTRODUCTION

54 Tout comme l'eau et le sol, l'air est un élément essentiel et vital pour tout être vivant (Vennin, A.
55 2000). La question de sa qualité est d'une importance planétaire, mais en Afrique cette question est peu
56 ou pas du tout abordée, or d'après l'Organisation Mondiale de la Santé « OMS », la pollution de l'air
57 est à l'origine de près de 200.000 décès chaque année en Afrique (WHO, 2016). Si cette question sur la
58 dégradation de la qualité de l'air reste pendante, le continent Africain atteindrait 600.000 décès en
59 2050. D'après la dernière base de données sur la qualité de l'air en milieu urbain, 98% des villes de
60 plus de 100 000 habitants dans les pays à faible revenu ne respectent pas les lignes directrices de
61 l'OMS relatives à la qualité de l'air (IQAir, 2020).

62 Les lignes directrices de l'OMS en rapport avec la qualité de l'air sont basées sur le contrôle et la
63 surveillance en temps réel de la concentration chimique des polluants comme les particules matières
64 (PM), l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre
65 (SO₂), le plomb (Pb) et autres. Les seuils en concentrations de ces polluants de l'air sont règlementés et
66 publiés chaque année dans les différents rapports de l'OMS. La concentration annuelle de NO₂ ne doit
67 pas dépassée la valeur de 40 µg/m³ (WHO, 2006) et l'exposition à des longues durées à ce seuil,
68 conduit à des maladies respiratoires et cardiovasculaires. La norme pour l'Union européen est fixée à
69 40 µg/m³. Ce polluant de l'air a plusieurs sources d'émissions, dont les principales sont le trafic
70 routier intense et les feux des biomasses Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo «
71 RDC », ville de près de 12 millions d'habitants (UN, 2016), est aussi fortement frappée par la pollution
72 de l'air comme le signale les rapports de l'OMS (WHO, 2019). La signature saisonnière du NO₂ est
73 marquée par un pic en saison sèche, observé depuis le satellite dans l'atmosphère de Kinshasa au cours
74 de dernières années. Cette pollution en NO₂ dans la ville de Kinshasa a été aussi observée depuis le sol
75 par Yombo et al 2021 qui confirme aussi les pics en saison sèche. Dans cette ville, on observe de forts
76 embouteillages, pendant les heures de grand trafic automobile et le soir au coucher du soleil. Le trafic
77 routier est intense dans la ville de Kinshasa, avec presque 90 % de vieux véhicules en mauvais état, ne
78 disposant pas de pot catalytique ni d'autres dispositifs d'épuration de gaz. Et ces véhicules utilisent de

79 l'essence produite par la Compagnie Nationale de Raffinage (CORAF) avec une teneur en plomb égale
80 à 0,10 g/l, or il n'existe pas de seuil en-dessous duquel l'exposition au plomb n'aurait pas d'effets
81 nocifs (WHO, 2019)

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

91 Depuis Mai 2017, un système de télédétection atmosphérique a été installé sur le toit de la faculté des
92 Sciences de l'Université de Kinshasa (UniKin) dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut
93 d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB). Cet instrument fourni des observations qui après analyse et
94 traitement renseignent sur les densités de la colonne verticale troposphérique (VCDT : vertical column
95 density tropospheric) de quelques molécules traces dont le NO₂. La première étude basée sur cet
96 instrument a été publiée par (Yombo et al., 2021) montrant ainsi le cycle saisonnier de cette molécule
97 avec une valeur moyenne de VCDT estimée à 3×10^{15} molecules cm⁻² entre 2017 et 2019. Le présent
98 travail vient donc en complément aux observations faites par l'instrument statique précité. Il vise à
99 présenter les observations mobiles, collectées en parcourant différents itinéraires routiers de la ville.
100 Ainsi l'idée est de faire un état de lieu sur les situations existantes dans différents coins de la ville
101 pouvant affecter la qualité de l'air. Ne disposant pas beaucoup des moyens financiers, nous avons
102 effectué 3 jours d'observations atmosphérique dans la ville de Kinshasa, en utilisant les instruments
103 basés sur spectroscopie d'absorption optique différentielle (DOAS : Differential Optical Absorption
104 Spectroscopy). Les instruments DOAS sont largement utilisés par la communauté scientifique du
105 monde entier pour mesurer les colonnes verticales troposphériques de quelques gaz en trace absorbant

106 dans la gamme spectrale de UV-Visible. Plusieurs études utilisant la technique DOAS ont été faites
 107 pour mesurer la pollution atmosphérique dans les grandes villes urbaines (Kramer et al. 2008 ; Gielen
 108 et al. 2017 ; Chen et al. 2009 ; Zhao et al. 2020 ; Ialongo et al. 2020 ; Friedrich et al. 2019). Nous
 109 utilisons donc la même technique dans le présent travail pour mesurer les colonnes verticales
 110 troposphériques de NO2 suivant quelques itinéraires à trafic intense dans la ville de Kinshasa. Dans la
 111 section suivante (2), nous présentons les matériels et la méthodologie d'extraction des VCDT du NO2.
 112 La section 3 montre les résultats des mesures mobiles, leur comparaison avec les observations
 113 satellitaires et une petite discussion basée sur les caractéristiques de différentes sources de pollution
 114 observées dans les zones à pic élevés, suivie des conclusions.

115 II. MATERIELS ET METHODES

116

117 II.1. Description du milieu d'étude

118

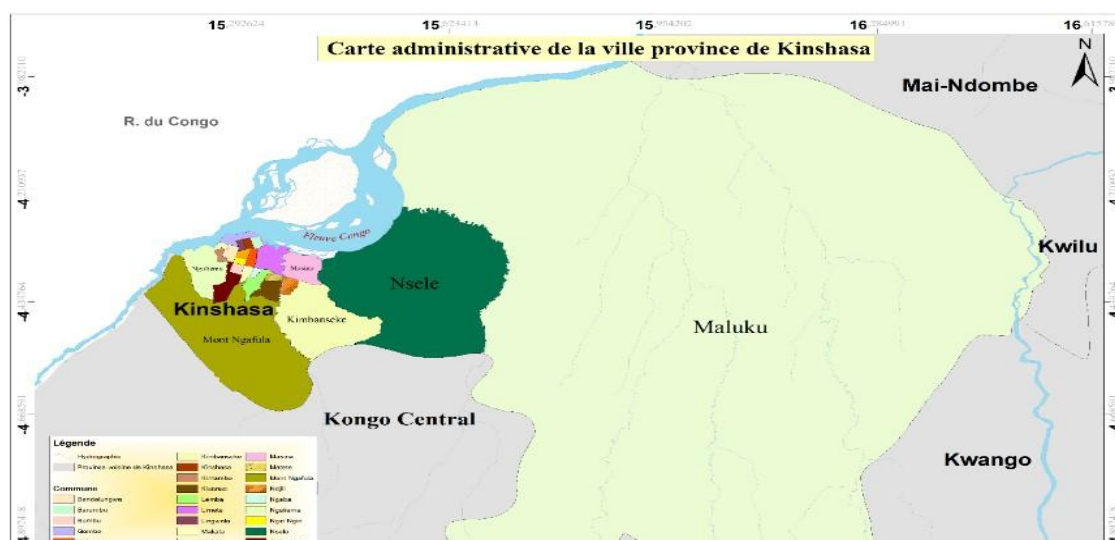
119 La ville de Kinshasa a aujourd'hui la forme d'une tortue géante dont la tête constitue la partie urbanisée
 120 comprenant 22 communes avec une superficie totale est de 590 km² qui représente seulement 6% de la
 121 superficie totale. Les 94% qui restent du corps représentent les deux communes urbano-rurales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

127

128

129

130



131

132 *Figure 1 : Carte administrative de la ville de Kinshasa*

133 **II.2. Méthodologie**

134 *a. Expérimentation et description des matériels*

135

136

137

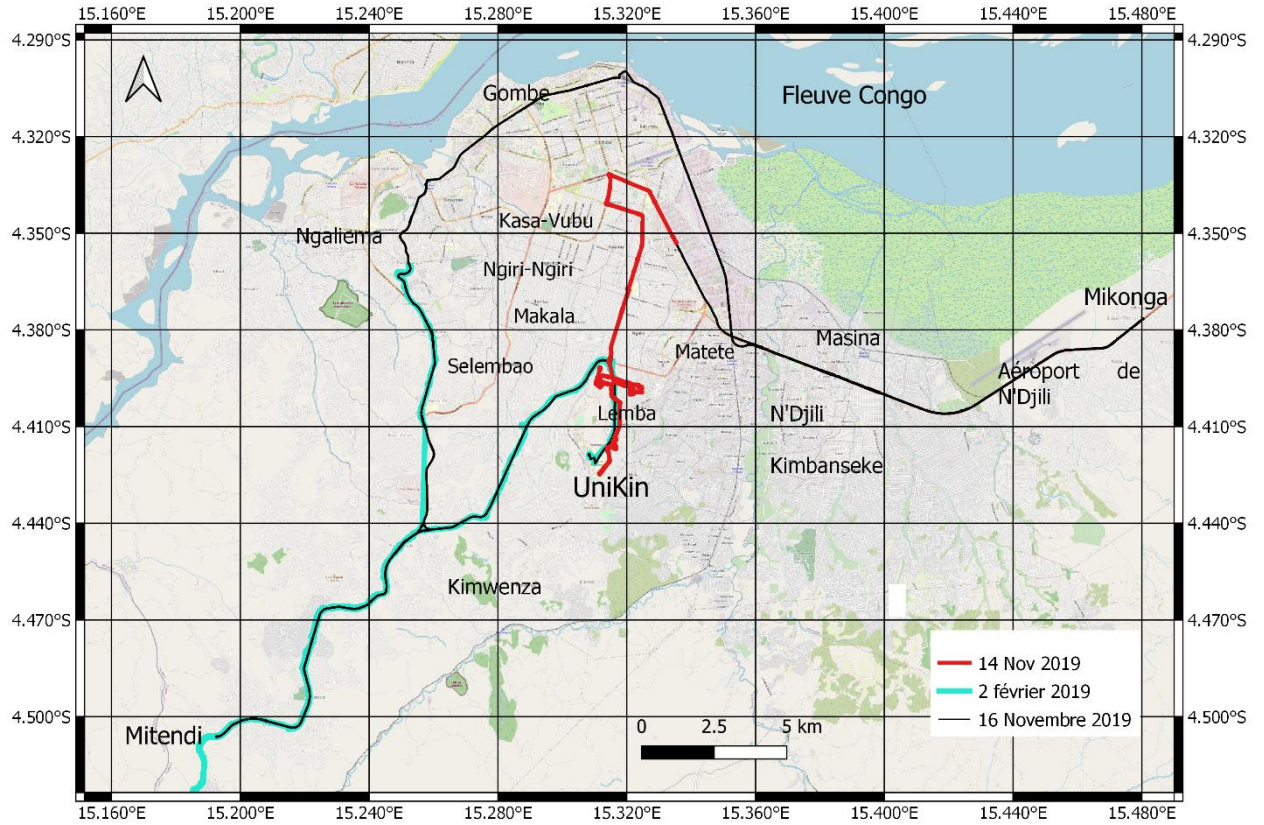
138

139

140

141 Les mesures mobiles ont été effectuées dans la ville de Kinshasa pendant 2 jours du mois de Novembre 2019
142 (14 et 16ème jour) pour les mesures du NO₂ et 1 jour du mois de Février 2020 (6ème jour) pour les mesures
143 du CO. Les mesures ont été faites à bord d'une voiture selon l'itinéraire montré sur la figure 2 et décrit dans
144 le tableau 1. Le dispositif expérimental utilisé dans la prise de mesure du NO₂ est basé sur un spectromètre
145 UV-VIS, un GPS, une fibre optique orientée au zénith et un ordinateur assurant le fonctionnement de tout le
146 système et la sauvegarde des données mesurées chaque minute (figure 3). Les équipements sont placés à bord
147 d'une voiture permettant de faire les mesures mobiles. Le spectromètre UV-VIS est un spectromètre
148 AVANTES qui couvre la gamme spectrale 290 - 550 nm avec 0.7 nm de résolution. Ce spectromètre est de
149 type Czerny-Turner avec une focale de 75 mm, une fente d'entrée de 50 µm de largeur, et un réseau de 1200
150 /mm. Ce type de spectromètre a été choisi pour sa gamme de longueurs d'onde qui correspond à la signature
151 spectrale d'absorption du NO₂. Le spectromètre est directement connecté à un ordinateur qui contrôle

152 l'acquisition et l'enregistrement des spectres. Avec ce système automatisé, nous pouvons enregistrer les
 153 données. Pour les mesures du CO, nous avons utilisé un capteur Lowcost.



154

155 **Figure 2 : itinéraires parcourus pour la prise des mesures mobiles**

156 Table 1 : Coordonnées temporelles et spatiales de la zone d'expérimentation

Jour	Intervalle de temps	Distance parcourue	Itinéraires et communes traversées
<i>14 novembre 2019</i>	<i>13h-17h30</i>	<i>7 km</i>	<i>UniKin (4.41°S, 15.31°E) Limete échangeur (4.22°S, 15, 20°E)</i>

<i>16 novembre 2019</i>	<i>9h-16h</i>	<i>150 km</i>	<i>Kitambo</i> <i>Magasin(4.33°S,15.25°E)</i> <i>Gare</i> <i>centrale(4.18°S,15.19°E)</i> <i>Kinkole (4.20°S,15.31°E)</i>
<i>2 février 2020</i>	<i>9h-16h</i>	<i>70 km</i>	<i>UniKin (4.41°S, 15.31°E)</i> <i>Kasangulu (4.58°S,</i> <i>15.16°E)</i> <i>UPN (4.40°S, 15.25°E)</i> <i>Lemba super (4.38°S,</i> <i>15.25°E)</i>

157

158

159

160

161

162

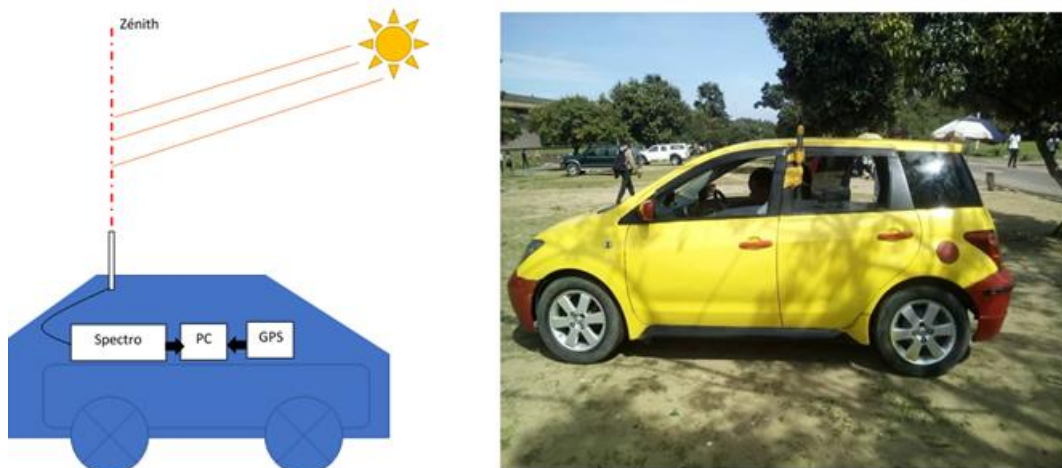
163

164

165

166

167



168

169

Figure 4. Système mobile utilisé dans nos mesures

170 b. Détermination de la concentration de NO_2

171 Pour **déduire** les quantités ou la concentration des différents polluants chimiques recherchés, **extraits** à partir
 172 des données brutes enregistrées, nous avons utilisé le logiciel QDOAS. Le programme QDOAS (Fayt et al.,
 173 2011), développé à **IASB**, procède à un ajustement par moindres carrés multilinéaires permettant de
 174 déterminer les colonnes obliques de chaque espèce absorbant le long du trajet optique (Danckaert et al.
 175 2017). Les paramètres de configuration du logiciel QDOAS pour l'analyse de NO_2 sont celles exploitées
 176 aussi dans (Yombo et al., 2021) **et présentés dans le tableau 2.**

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

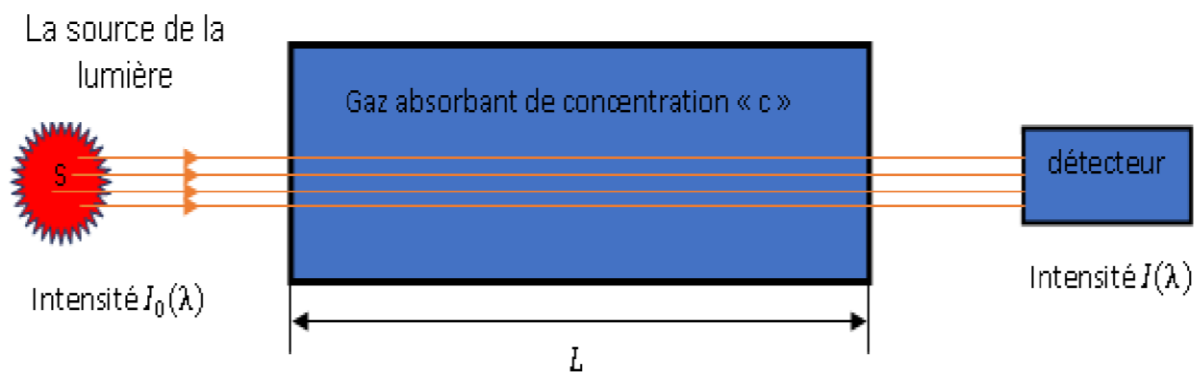
Paramètres	Configurations et sections efficaces utilisées
Intervalle d'extraction	425-490nm
Calibration	Chance and Kurucz (2010)
NO_2	Vandaele et al.(1998), 298K
O_3	Bogumil et al.(2003), 223K
H_2O	Harder and Brault 1997

O ₄	Hermans et al. (2003)
Correction de l'effet Ring	Chance and Spurr (1997)
Terme polynomial	Polynomial of order 5
correction intensité Offset	Offset(constant), offset(ordre 1) « Non-linéaire »

179

180 Le logiciel QDOAS, exploite les équations de la spectroscopie d'absorption différentielle (DOAS :
 181 (Differential Optical Absorption Spectroscopy) qui est basée sur la loi de Beer-Lambert (figure 4).
 182 D'après cette loi, il existe une relation linéaire entre le coefficient d'absorption d'un signal lumineux qui
 183 traverse une cuve (un espace) et la concentration de l'espèce chimique absorbante que contient la cuve.
 184 Comme chaque type de molécule et chaque gaz dispose de sa propre signature spectrale d'absorption
 185 optique, sorte d'empreinte digitale, il est possible de les identifier et d'en déterminer la concentration.
 186 Cette loi établit une relation entre la quantité de lumière absorbée par les molécules et le nombre de
 187 molécules présente dans le champ lumineux selon la relation (1).

188



189

190 *Figure 5. Illustration de la loi de Beer-Lambert (Yombo et al, 2019).*

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

191

192 Où $I_0(\lambda)$ est l'intensité initiale, $I(\lambda)$ est l'intensité de la radiation après passage à travers une épaisseur
193 L d'un absorbeur de concentration uniforme c , $\sigma(\lambda)$ est la section efficace de cet absorbeur. Si la
194 longueur du chemin optique L est connue, on peut calculer la concentration c de l'espèce moléculaire le
195 long du chemin optique.

196 Il est à rappeler que dans le cas de l'atmosphère il y a plusieurs espèces présentes absorbantes, la loi de
197 Beer Lamber tel que réellement exploitée dans QDOAS est donc modifiée, pour prendre en compte
198 toutes les conditions physico-chimiques de l'atmosphère. La technique d'analyse est développée de
199 façon approfondie par Danckaert et al. (2017). L'analyse QDOAS nous fournit donc la DSCD qui est
200 la différence entre les densités de colonne oblique total dans les spectres mesurés (SCD) et le spectre de
201 référence SCD_{ref} .

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

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

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

211 La SCD totale contient la contribution de la partie troposphérique et stratosphérique de l'espèce ciblé
212 Le NO₂ est présent dans la troposphère tout comme dans la stratosphère. L'expression de la SCD peut
213 donc s'écrire comme la somme de la contribution troposphérique (SCD_{tropo}) et stratosphérique
214 (SCD_{strato}) de la colonne oblique selon l'équation :

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

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

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

218
219 A partir de l'équation on peut déduire la quantité recherchée selon l'équation :

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

220

221 Dans notre étude, nous avons donc exploitée l'équation (6) pour extraire les colonnes verticales
222 troposphériques de NO₂ dans les mesures mobiles effectuées dans la ville de Kinshasa. La SCD_{strato}
223 utilisée pour chaque jour de mesure a été déduite des observations du satellite TROPOMI au-dessus de
224 Kinshasa. Les AMF_{tropo} et la SCD_{ref} utilisés dans la présente étude ont été obtenus de la même manière
225 que dans Yombo et al., 2021 qui avait trait à des mesures réalisées dans la même ville. Un algorithme a
226 été donc développé, résolvant l'équation (5) dans l'objectif d'extraire l'information de la concentration
227 verticale troposphérique de NO₂. Cet algorithme est directement inspiré des recherches menées par
228 Yombo et al., 2021.

229 Le Global Positionning System (GPS) a servi à la localisation du site, de même qu'un décamètre, une
230 boussole, un carnet de terrain. Les logiciels de cartographie Arcgis, Arcmap, Qgis, et de traitement de
231 textes (MS Word) et de Graphiques (Python) ont été utilisés.

232

233

234

235

236

237

238

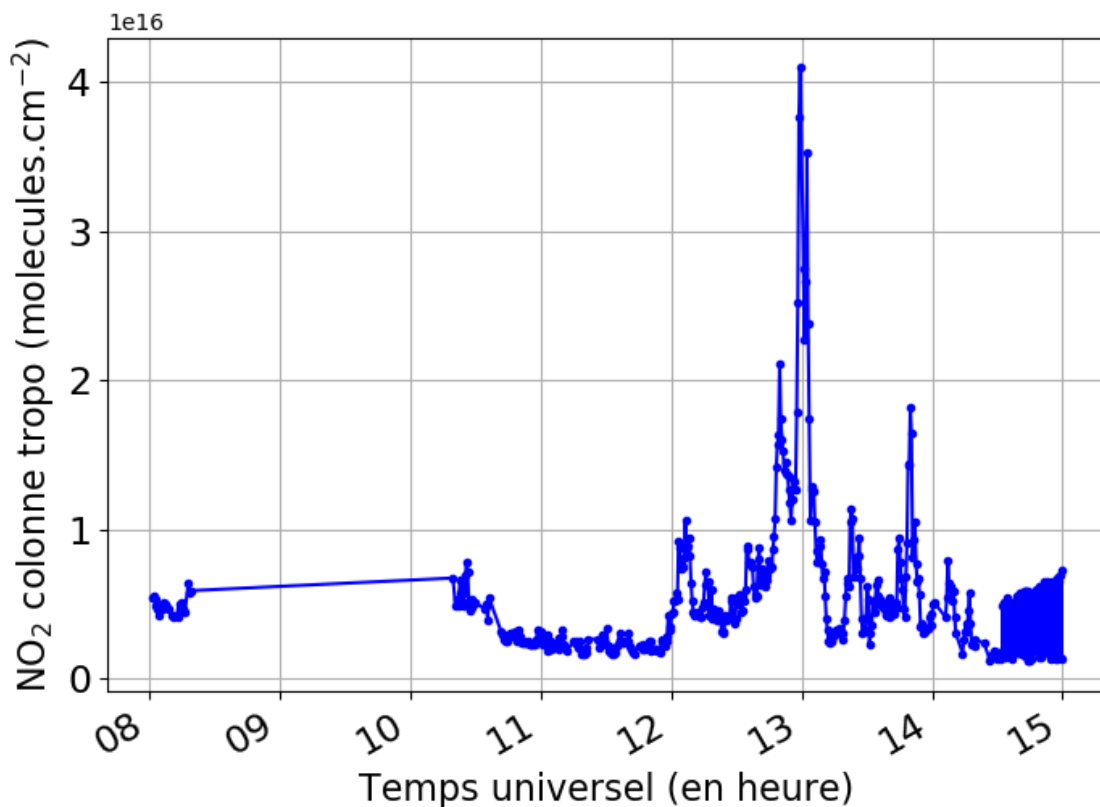
239

240

241 III. RESULTATS ET DISCUSSION

242 III.1 Résultat

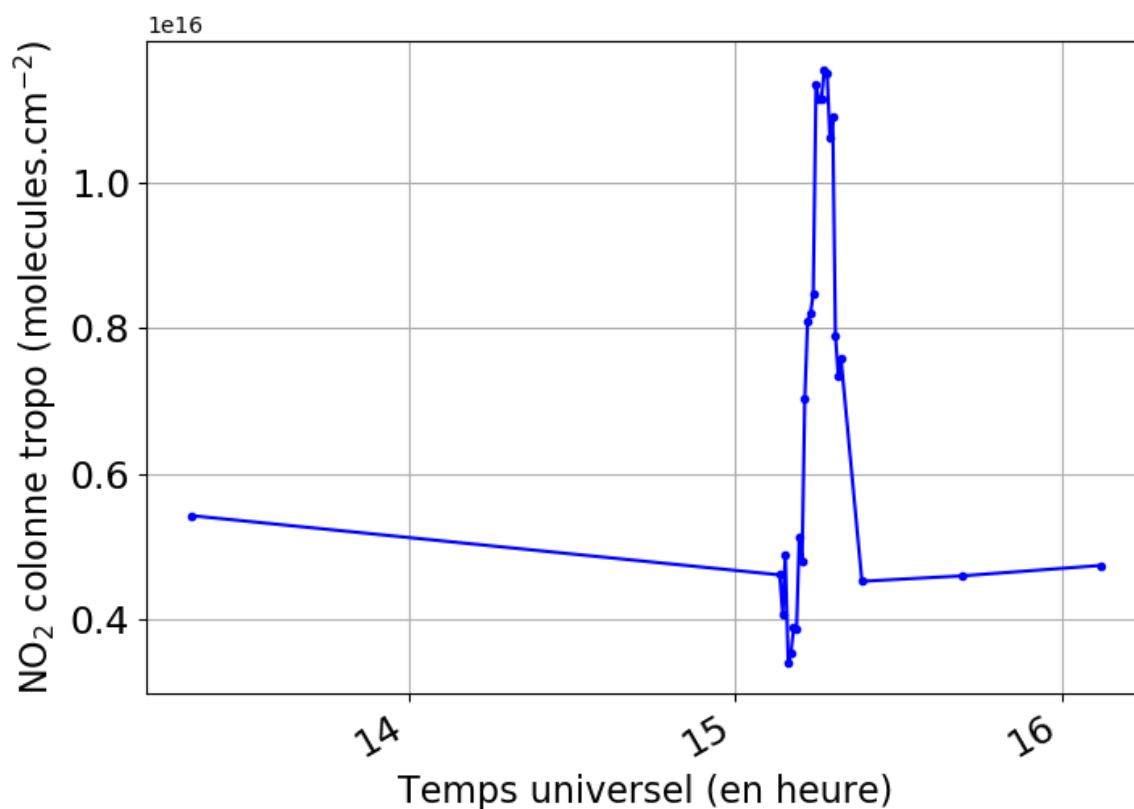
243 La figure 5 et 6 montrent les différentes valeurs de NO₂ mesurées le 14 et le 16 novembre 2019 dans la ville
244 de Kinshasa.
245



246
247 Figure 5. Colonne verticale troposphérique de NO₂ mesurée dans les communes de la ville de Kinshasa le 16
248 novembre 2019 entre 8h et 15h.

249 La figure 5 montre les concentrations du NO₂ troposphérique dérivé des mesures mobile du 16 novembre
250 2019 en fonction des points de mesure montrent que le premier pic de NO₂ a été enregistré au rond-point
251 Ngaba (figure 6), un carrefour caractérisé par un trafic routier intense. Le même comportement a été observé
252 dans tous les autres carrefours de la ville de Kinshasa. Le pic le plus marquant a été enregistré aux alentours
253 de Kingabwa entre 12h30 et 13h10.

254



255

256 *Figure 6. Colonne verticale troposphérique de NO₂ mesurée dans la commune de Masina à Pascal le 14*
 257 *novembre 2019 entre 13h et 17h30 UT.*

258 Le 14 novembre 2019, nous avons aussi effectué des mesures dans la commune de Limete, quartier
 259 industriel. La présence des industries dans cette zone nous a motivé de faire les mesures statiques pour
 260 essayer de comprendre l'impact de la présence des activités industrielles dans la chaîne d'émission des
 261 polluants de l'air à Kinshasa. Les résultats montrés sur les figures 5 et 6 attestent qu'il y a bien une forte
 262 émission de NO₂ dans cette zone. Les valeurs les plus élevées observées dans cette zone industrielle sont
 263 parfois 4 fois supérieures à celles observées dans les autres coins de la ville.

264

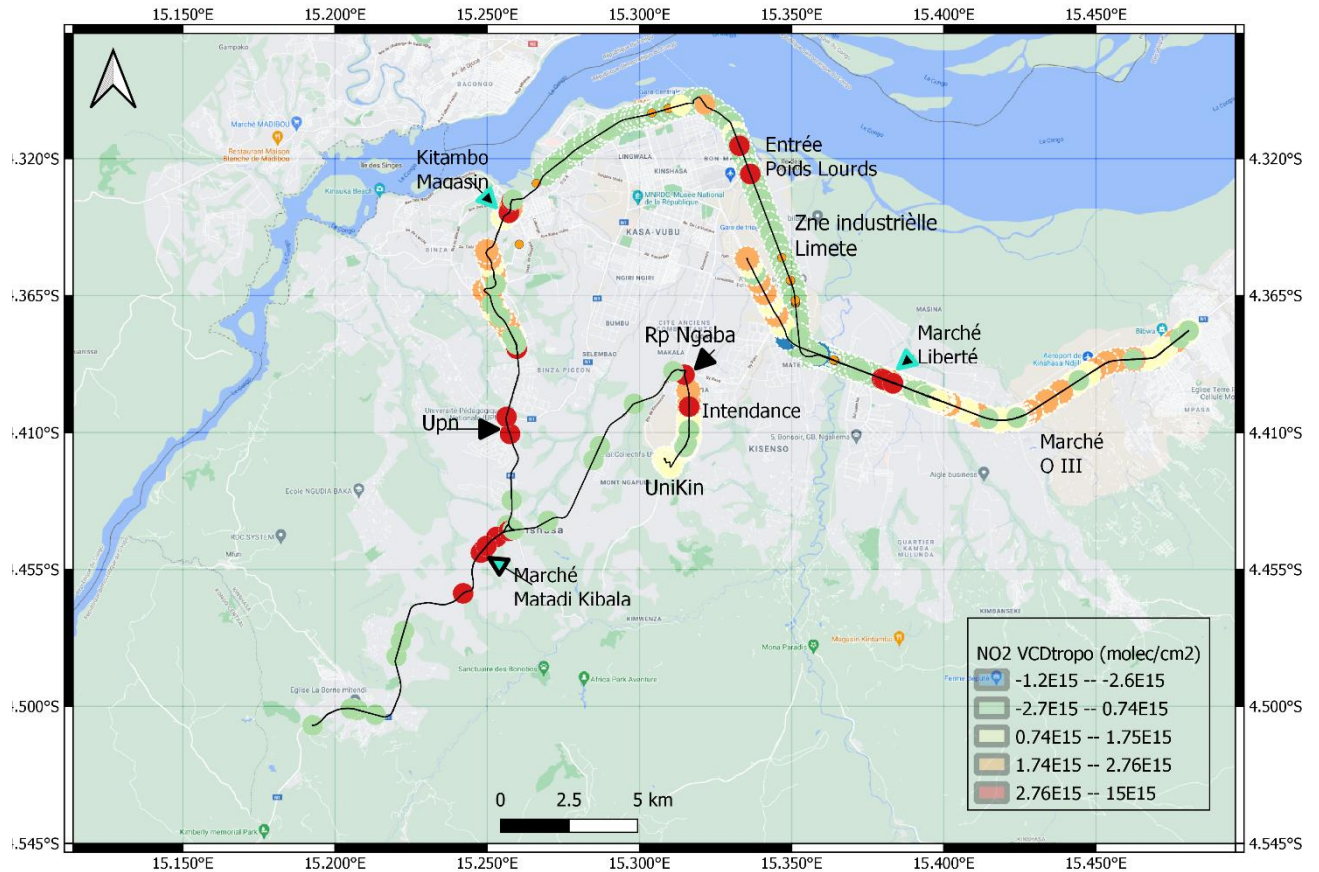
265 **La figure 7 montre la distribution spatiale de NO₂ qu'enregistrée et plotée dans les figures 5 et 6. L'analyse**
 266 **cartographique de la concentration de l'air de Kinshasa en dioxyde d'azote nous montre quatre zones dont les**

267 zones les plus susceptibles sont en couleurs rouge et orange. Ces zones sont : Rond-point Ngaba, Marché de
268 Matadi Kibala, le rond-point UPN, le carrefour de Kintambo Magasin, Entrée Poids Lourds, Marché de
269 Liberté, Les valeurs de NO₂ les plus hautes sont comprises entre 2 et 15×10^{15} molécules/cm². Outre les
270 mesures faites sur le NO₂, nous avons aussi effectué des mesures sur le monoxyde de carbone (CO) qui est
271 l'une des espèces influençant la qualité de l'air. L'instrument utilisé pour ces mesures étant peu sensible,
272 nous n'avons pas produit un résultat quantitatif du CO cependant le signal électrique tel que délivré par le
273 petit capteur confirme la présence de cette espèce dans la ville de Kinshasa.

III.2 Discussion

a. Estimation qualitative des sources

275 Dans cette sous-section, nous discutons des éventuelles causes pouvant créer les différents pics de pollution
276 du NO₂, observés dans différentes communes de la ville de Kinshasa. Nous tacherons de montrer aussi les
277 limites de validation de résultats obtenus par différentes interprétations physico-chimique du comportement
278 de l'espèce mesuré. Nous donnerons aussi quelques comparaisons entre les résultats obtenus dans cette étude
279 et ceux observés dans quelques autres villes Africaines ou européennes. La quantification des sources
280 d'émissions et leurs contributions dans les observations réalisées lors d'une étude de pollution nécessite
281 l'utilisation des outils comme des modèles atmosphériques de chimie-transport ou encore des études
282 statistiques dites « bottom up ». Ne disposant pas des moyens nécessaires pour arriver à exploiter les outils et
283 techniques précitées, nous nous sommes limités à décrire de manière synthétique les quelques phénomènes
284 observés dans les lieux où les pics de pollution ont été détecté. Le tableau suivant donne de manière
285 générale et descriptive les sites où les pics les plus élevés ont été observés, avec quelques caractéristiques des
286 phénomènes observés.



287

288 **Figure 7 – Répartition spatiale et localisation des zone à forte concentration en NO₂ à Kinshasa.**

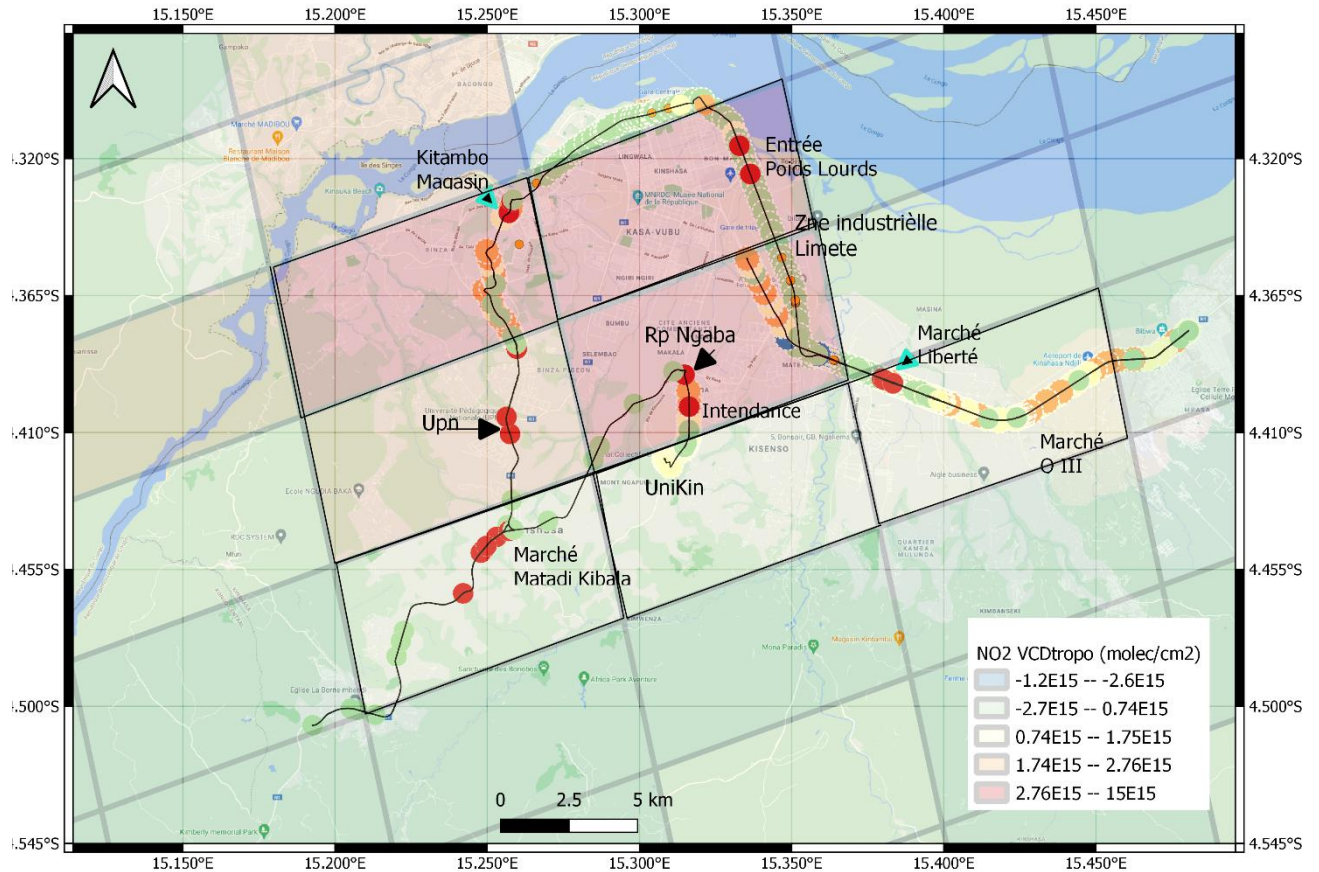
289 **Table 3 – Présentation des caractéristiques des sites à pics de pollutions élevés.**

Nom du Site et coordonnées géographiques	Valeur de la colonne troposphérique observée (en molec/cm ²)	Phénomène caractéristique du site
Rond point Ngaba	15 x 10 ¹⁵	Embouteillage (trafic routier intense) Présence des véhicules dégageant de la fumée Arrêts de bus
Marché Matadi Kibala	13 x 10 ¹⁵	Embouteillage (trafic routier intense) Présence des véhicules dégageant de la fumée Brûlage des déchets domestiques Brulage biomasse aux alentours
Carrefour UPN	14 x 10 ¹⁵	Embouteillage (trafic routier intense) Présence des véhicules dégageant

		de la fumée Arrêts de bus
Kitambo Magasin	10×10^{15}	Trafic intense Arrêts des bus
Limete industrielle	10×10^{15}	Zones industrielles Trafic intense
Marché Liberté	12×10^{15}	Embouteillage (trafic routier intense) Présence des véhicules dégageant de la fumée Brûlage des déchets domestiques Brulage biomasse aux alentours

290

291 En analysant le tableau 3, on remarque qu'il y a 7 zones à pics élevés de pollution en NO₂, observés pendant
292 nos mesures. Ces pics de pollution sont aussi visibles à partir de l'espace via les observations du satellite
293 Tropomi SP5, tel que montré dans la figure 8. Les valeurs de satellite sont présentées en pixels
294 rectangulaires. TROPOMI est un spectromètre d'imagerie au nadir à bord du satellite Sentinel5 Precursor. Il
295 mesure la lumière solaire réfléchi dans les ultraviolettes, visible, proche infrarouge et infrarouge à ondes
296 courtes (Veefkind et al. 2012). Avec une largeur de la fauchée de 2600 km, il peut couvrir l'ensemble de la
297 planète en une seule journée avec une taille de pixel de 5,5 km x 3,5 km au nadir réel dans les bandes
298 UV/VIS/proche-infrarouge. Nous avons utilisé des images retraitées (RPRO ; v0102). Les 7 zones présentent
299 des caractéristiques semblables en liaison directe avec le trafic routier intense. On observe aussi un autre
300 phénomène des brulages biomasse en complément du phénomène de trafic routier intense dans ces six zones.
301 Le NO₂ est présentée dans la littérature comme une espèce ayant pour sources dans l'air ambiant, la
302 combustion automobile, industrielle et thermique. D'autres sources d'origine naturelle sont par exemple la
303 foudre et les émissions dans le sol.



304

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

307 **Dans notre cas, il s'avère clair que les valeurs des pics observés dans ces zones proviennent du trafic routier**
 308 **intense, dominé essentiellement par des véhicules vétustes dégageant de la fumée (figure 9).**

309

310 **Figure 9 – Véhicules fumant en circulation à Kinshasa.**

311 **Il sied de signaler ici que les phénomènes observés dans ces zones sont répétitifs pendant toute l'année. Il**
 312 **arrive parfois que l'intensité de ces mêmes phénomènes puissent augmenter de manière significative surtout**
 313 **aux heures de pointes (11h-13h et 16h-18h). Le phénomène étant répétitif chaque année dans ces sites, nous**
 314 **pouvons tenter de confirmer que les résultats observés dans cette étude restent valables tout au long de**

315 l'année et pourrait même être projetés jusqu'aux années futures surtout si les conditions demeurent
316 inchangées.

317 **b. Limite de validité des résultats**

318 Les résultats présentés dans cette étude ne couvrent que 3 jours de mesures. On serait tenter de limiter les
319 interprétations à ces trois jours uniquement dans le but d'être cohérent dans la prise de position. Et ceci est
320 vrai dans le cas où la situation locale en termes des caractéristiques présentées dans le tableau 2 des sites
321 observés reste inchangée. Or dans la sous-section précédente, nous avons signalé l'aspect répétitif des
322 phénomènes observés sur ces sites à pic de pollution élevé. Cet aspect répétitif peut nous donner avantage de
323 prédire la situation future de la pollution à ces endroits en se basant juste sur nos résultats actuels. Les valeurs
324 observées peuvent fortement variées au cours de la journée mais pas forcément pendant les heures des
325 pointes. Il serait sans doute encourageant de faire des observations statiques pendant des longues périodes sur
326 ces sites pollués afin de pouvoir compléter les démarches pilotes entamées dans cette étude et de mesurer les
327 concentrations in situ.

328 **c. Comparaison avec les autres villes**

329 Plusieurs grandes villes Africaines sont aussi frappées par la pollution de l'air. Les éventuelles sources
330 émettrices de cette pollution sont généralement de mêmes natures que celles que nous avons évoqué dans
331 cette étude. Une étude menée dans deux grandes villes d'Uganda (Kampala et Jinja) stipule que les sources
332 de la pollution influençant la qualité de l'air observées dans ces deux villes sont dues aux émissions des
333 véhicules, la poussière remise en suspension sur les routes non pavées, la fumée provenant de l'utilisation de
334 la biomasse à l'intérieur des habitations et du brûlage des ordures, ainsi que les sites industriels (J. Bruce et
335 al., 2015) Marais et al., 2016 dans son étude sur les inventaires d'émission en Afrique démontre que la
336 pollution anthropique en Afrique est dominée par des sources de combustion diffuses et inefficaces, car
337 l'accès à l'électricité est faible et les motos et les voitures vétustes prolifèrent. On voit clairement que la
338 situation de Kinshasa serait presque pareille à quelques villes présentées discutées dans ce travail et pourrait
339 s'avérer pareille aux autres villes Africaines présentant les mêmes caractéristiques que Kinshasa.

340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362

363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388

CONCLUSION

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

Les espèces ciblées dans cette étude à savoir le NO_2 et le CO font partie des gaz dite polluants, détruisant la composition naturelle de l'atmosphère terrestre. Elles contribuent fortement à la dégradation de la qualité de l'air conduisant ainsi à des maladies mortelles. Nous avons effectué les observations de télédétection atmosphériques pour sonder le niveau de pollution de quelques communes de la ville de Kinshasa. Les mesures et l'analyse des spectres collectés sont basées sur la technique dite DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy), une technique bien connue dans la communauté scientifique mondiale et utilisée ce dernier temps pour la mesure des polluants atmosphériques dans les grandes villes. Un capteur low cost a été utilisé aussi pour mesurer la teneur en CO dans la ville de Kinshasa.

Afin de prendre en compte la distribution spatiale des espèces ciblées, nous avons jugé bon de faire des observations mobiles, à bord d'une voiture pendant deux jours pour la mesure du NO_2 (14 novembre et 16 novembre 2019) et un jour pour le CO (06 Février 2020). Les résultats de l'ensemble d'étude sur la pollution en dioxyde d'azote (NO_2) montrent que les zones à trafic routier intense sont beaucoup plus impactées par les

389 valeurs plus grandes de NO₂. Ces zones sont : les carrefours de Rond-point Ngaba, de l'UPN, de Matadi
390 Kibala et de Bitabe. Les régions industrielles des communes de la Gombe, et de Limete, ont particulièrement
391 attiré notre attention dans le sens où les valeurs observées dépassaient fortement celles observées dans
392 d'autres coins de la ville. Nous avons remarqué aussi que la teneur en NO₂ était moins importante dans les
393 parties de la ville à trafic fluide, ou les activités de commerces ne gênent pas la bonne circulation des
394 véhicules, et où on ne retrouve pas les quelques industries de la ville. Le petit capteur Low cost utilisé pour
395 mesurer la teneur en CO ne nous a pas permis de quantifier les valeurs détectées mais le signal enregistré lors
396 de mesures montre bel et bien qu'il y a la présence de CO dans la ville de Kinshasa. Les valeurs de colonne
397 troposphérique observées dans ces zones varient de 3 à 15×10^{15} molécules/cm². Une comparaison simple
398 avec les observations du satellite Tropomi SP5 démontre combien ces pics de pollution sont intenses et
399 visibles à partir de l'espace aussi.

400 Quant à l'évaluation des sources pouvant conduire aux pics des pollutions observés, il nous ai semblé claire
401 d'analyser les quelques phénomènes caractérisant les sites à pics de pollution élevés. Après constat
402 personnelle basé sur l'observation, nous avons trouvé que ces sites sont impactés par la présence du trafic
403 routier intense dominé par la présence des véhicules vétustes, les embouteillages, le dégagement de la fumée
404 en provenance de feux des déchets domestiques. Ces caractéristiques reflètent bien les sources des espèces
405 étudiés dans notre travail telle que décrite dans la littérature. Une petite étude comparative a été faite pour
406 voir ce qui se passe dans quelques autres villes d'Afrique. Nous avons constaté que les milieux exposés à des
407 pics élevés du NO₂ sont de même nature que ceux existant à Kinshasa. Ces sites présentent les même
408 caractéristiques d'activités en terme du trafic routier intense et brulage de déchets ménagers.

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

416 Ainsi donc, nous recommandons aux autorités urbaines ce qui suit : Aménager des gares-routières, arrêts de
417 bus et parkings afin de réduire les embouteillages dans la ville ; Réduire l'importation des vieux véhicules
418 dans la ville de Kinshasa ; Imposer l'utilisation des dispositifs d'épuration de gaz d'échappement des
419 véhicules sur l'ensemble de la ville ; Instaurer un système de circulation alternée ; Faire la promotion des
420 transports de masse ; Installer plusieurs stations de mesure des polluants atmosphériques à travers la ville ;
421 Faire plus des vulgarisations médiatiques du phénomène de la pollution de l'air ; Mettre en place un système
422 efficace de gestion des poubelles et immondices. Néanmoins, le champ d'étude reste encore vaste pour
423 arriver à mettre en place les recommandations fournies dans ce travail. Nous recommandons vivement de
424 continuer à mener des études plus approfondies dans ce domaine de pollution de l'air dans toutes les cités et
425 villes de la RDC afin d'arriver à une base de données efficaces pouvant aider à la prise de décision.

426 REFERENCES

- 427 [1] Bruce J. Kirenga and coauteurs (2015) : The State of Ambient Air Quality in Two Ugandan Cities :
428 A Pilot Cross-Sectional Spatial Assessment, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 8075-8091
429 ; doi :10.3390/ijerph120708075.
- 430 [2] Bogumil, K., and Coauthors (2003) :Measurements of molecular absorption spectra with the
431 SCIAMACHY pre-flight model : Instrument characterization and reference data for atmospheric
432 remote-sensing in the 230–2380 nmregion, *J. Photochem. Photobiol.*, 157A, 167–184, [https
433 ://doi.org/10.1016/S1010-6030\(03\)00062-5](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(03)00062-5).
- 434 [3] Chance, K. V., and R. J. D. Spurr (1997) :Ring effect studies : Rayleigh scattering, including
435 molecular parameters for rotational Raman scattering, and the Fraunhofer spectrum, *Appl. Opt.*, 36,
436 5224–5230, [https ://doi.org/10.1364/AO.36.005224](https://doi.org/10.1364/AO.36.005224).
- 437 [4] Chance, K. V., and R. L. Kurucz (2010) : An improved high-resolution solar reference spectrum for
438 Earth's atmosphere measurements in the ultraviolet, visible, and near infrared, *J. Quant. Spectrosc.
439 Radiat. Transfer*, 111, 1289–1295, [https ://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2010.01.036](https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2010.01.036).
- 440 [5] Chen, D., B. Zhou, S. Beirle, L. M. Chen, and T. Wagner (2009) :Tropospheric NO₂ column
441 densities deduced from zenith-sky DOAS measurements in Shanghai, China, and their application to
442 satellite validation, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 3641–3662, [https ://doi.org/10.5194/acp-9-3641-2009](https://doi.org/10.5194/acp-9-3641-2009).

- 443 [6] Ialongo, I., H. Virta, H. Eskes, J. Hovila, and J. Douros (2020) : Comparison of
444 TROPOMI/Sentinel5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in Helsinki,
445 Atmos. Meas. Tech., 13, 205–218, <https://doi.org/10.5194/amt-13-205-2020>.
- 446 [7] Gielen, C., and Coauthors, (2017) : Characterisation of central-African aerosol and trace-gas
447 emissions based on MAX-DOAS measurements and model simulations over Bujumbura, Burundi.,
448 Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2016-1104>.
- 449 [8] Danckaert, T., Fayt, C., Van Roozendaal, M., DE SMEDT, I., LETOCART, V., MERLAUD, A. and
450 PINARDI, G. (2017) :An improved high-resolution solar reference spectrum for Earth's atmosphere
451 measurements in the ultraviolet, visible, and near infrared, QDOAS Software user manual, BIRA,
452 Brussel.
- 453 [9] Friedrich, M., C. Rivera, W. Stremme, Z. Ojeda, J. Arellano, A. Bezanilla, J. A. García-Reynoso,
454 and M. Grutter (2019) :NO₂ vertical profiles and column densities from MAX-DOAS measurements
455 in Mexico City, Atmos. Meas. Tech., 12, 2545– 2565, <https://doi.org/10.5194/amt-12-2545-2019>.
- 456 [10] Harder, J. W., and J. W. Brault (1997) : Atmospheric measurements of water vapor in the
457 442-nm region., J. Geophys. Res., 102, 6245–6252, <https://doi.org/10.1029/96jd01730>.
- 458 [11] Hermans, C., and Coauthors(2003) :Absorption cross-section of the collision-induced bands
459 of oxygen from the UV to the NIR. Weakly Interacting Molecular Pairs : Unconventional Absorbers
460 of Radiation in the Atmosphere, C. Camy-Peyret and A. A. Vigasin, Eds., NATO Science Series IV,
461 Vol. 27, Springer, 193–202.
- 462 [12] Katoto, P. D. M. C., Byamungu, L., Brand, A. S., Mokaya, J., Strijdom, H., Goswami, N., De
463 Boever, P., Nawrot, T. S. and Nemery, B.(2019) :Ambient air pollution and health in Sub-Saharan
464 Africa : Current evidence, perspectives and a call to action, Current evidence, perspectives and a call
465 to action., Environ. Res., 173(May), 174–188, doi :10.1016/j.envres.2019.03.029.
- 466 [13] Kramer, L. J., R. J. Leigh, J. J. Remedios, and P. S. Monks (2008) :Comparison of OMI and
467 groundbased in situ and MAXDOAS measurements of tropospheric nitrogen dioxide in an urban
468 area, J. Geophys. Res., 113, D16S39, <https://doi.org/10.1029/2007JD009168>.

- 469 [14] Marais, Eloise Wiedinmyer, Christine. (2016) :Air Quality Impact of Diffuse and Inefficient
470 Combustion Emissions in Africa (DICE-Africa), Environmental science technology. 50.
471 10.1021/acs.est.6b02602.
- 472 [15] Sportise, B. (2008) :Pollution atmosphérique. Des processus à la modélisation, collection «
473 Ingénierie et développement durable », Springer, 345 p.
- 474 [16] UN (2016) :The world's cities in 2016, UN Dept. of Economic and Social Affairs Data
475 Booklet, 29 pp.
- 476 [17] Vennin, A. (2000) La qualité de l'air, normes et procédures, Imprimerie Nationale Paris.
- 477 [18] Vandaele, A. C., and Coauthors (1998) :Measurements of the NO₂ absorption cross-section
478 from 42 000 cm² to 10 000 cm² (238–1000 nm) at 220K and 294 K, J. Quant. Spectrosc. Radiat.
479 Transfer, 59, 171–184, [https://doi.org/10.1016/S0022-4073\(97\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(97)00168-4).
- 480 [19] Veefkind, J. P., and Coauthors (2012) : TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor : A
481 GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and
482 ozone layer applications. Remote Sens, Environ., 120, 70– 83, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>.
- 484 [20] IQAir (2020) : World Air Quality Report, (August), 1–41 [online] Available from : <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2020-en.pdf>.
- 486 [21] WHO (2006) :Air quality guidelines for Europe, WHO Tech. Rep.,288 pp.
- 487 [22] World Health Organization (2016) :Ambient air pollution : A global assessment of exposure
488 and burden of disease, Geneva, Switzerland. [online] Available from : <http://www.who.int>.
- 489 [23] World Health Organization (2014) :IQAir : World Air Quality Report, World Air Qual. Rep.,
490 1–22.
- 491 [24] Yombo, R., Pinardi, G., Merlaud, A., Fayt, C., Roozendael, M. Van and Mbungu, J.-P (2019)
492 : Télédétection de la pollution en dioxyde d'azote et en formaldéhyde dans l'atmosphère de
493 Kinshasa à partir d'une station de mesure des polluants atmosphériques, Ann. LA Fac. DES Sci., 1,
494 11–24, 2019
- 495 [25] Yombo Phaka, R., Merlaud, A., Pinardi, G., Mahieu, E., Hendrick, F., Friedrich, M. M., Fayt,
496 C., Van Roozendael, M., Djibi, B. L., Bopili Mbotia Lepiba, R., Phuku Phuati, E. and Mbungu

497 Tsumbu, J.-P. (2021) : First Ground-Based DOAS Measurements of NO₂ At Kinshasa and
498 Comparisons With Satellite Observations, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, (2), 1291–1304, doi
499 :10.1175/jtech-d-20-0195.1

500 [26] Zhao, X., and Coauthors (2020) : Assessment of the quality of TROPOMI high-
501 spatial-resolution NO₂ data products in the greater Toronto area, *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 2131–2159,
502 <https://doi.org/10.5194/amt-13-2131-2020>.

503 REMERCIEMENTS

504 – Nous remercions le Bureau de la Politique Scientifique Fédérale Belge (BELSPO), et le Projet
505 KinAERO pour leur soutien financier en rapport avec l'instrument DOAS et la disponibilité des
506 données satellite. Nous tenons à remercier particulièrement Emmanuel Mahieu chercheur associé
507 principal au F.R.S. – FNRS, Alexis Merlaud et Gaia Pinarđi chercheurs à l'Institut royal d'Aéronomie
508 Spatiale de Belgique (IASB) pour leur aide et leurs suggestions pertinentes lors de la rédaction de cet
509 article.

510 – Nous remercions l'unité de recherche (GEAT-Kin : Gestion de l'Environnement et d'Aménagement
511 du Territoire), dirigée par le Professeur Holenu Mangenda pour la mise en disponibilité de la voiture.

512 COMITÉ DE LECTURE

513

514 1. Professeur Louis Bernard Tchoukoua: Ecole Supérieure Nationale de Yaoundé/Cameroun E-
515 mail: tchoukoua@yahoo.fr

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

518 3. Professeur ISAAC DIANSAMBU: Ecole Régionale d'Aménagement des forêts
519 tropicales/RDCongo E-mail: i.diansambu@eraift-rdc.org

520

521

522