



**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.



27 Gombe (tronçon poids lourds) sont beaucoup plus frappées par la pollution en NO<sub>2</sub>, 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 ; **NO<sub>2</sub> ; 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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; **NO<sub>2</sub>; 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 (O<sub>3</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre  
65 (SO<sub>2</sub>), 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 NO<sub>2</sub> ne doit  
67 pas dépassée la valeur de 40 µg/m<sup>3</sup> (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/m<sup>3</sup>. 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub>. 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  $3 \times 10^{15}$  molécules cm<sup>-2</sup> 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



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

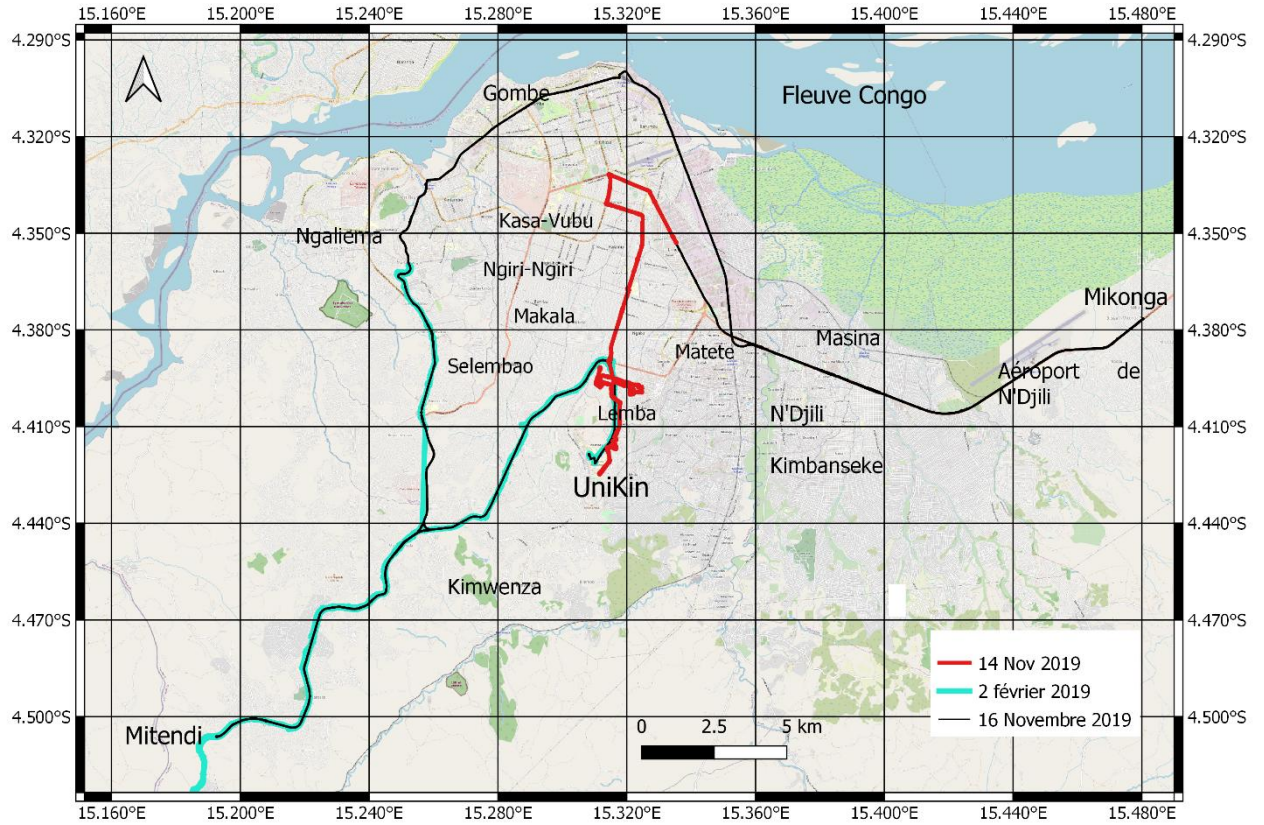
138

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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub>. 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
14 novembre 2019	13h-17h30	7 km	UniKin (4.41°S, 15.31°E) Limete échangeur (4.22°S, 15, 20°E)



<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

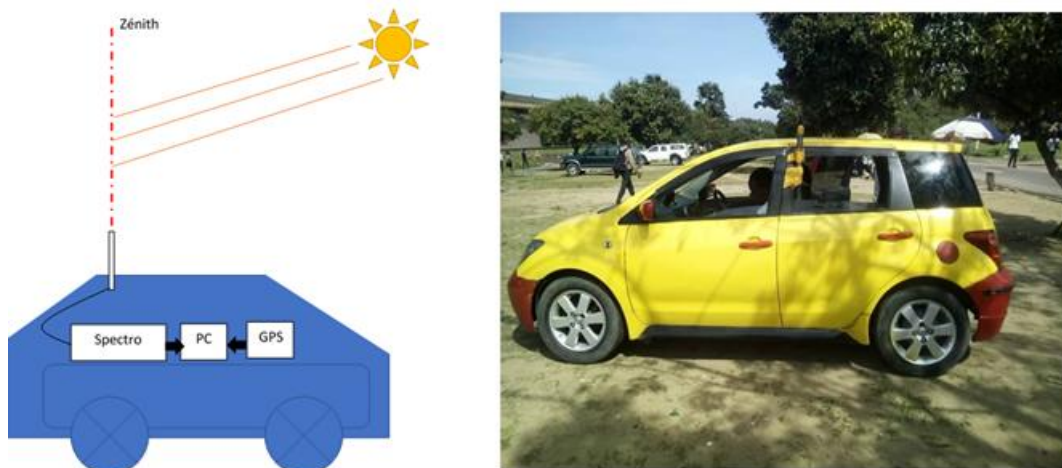
163

164

165

166

167



168

169

Figure 4. Système mobile utilisé dans nos mesures

170 b. Détermination de la concentration de  $\text{NO}_2$

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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$ .**

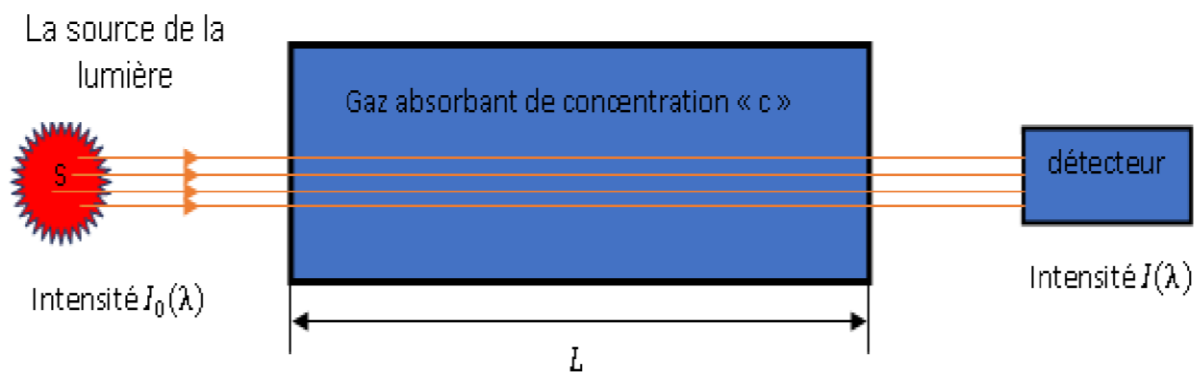
<b>Paramètres</b>	<b>Configurations et sections efficaces utilisées</b>
<b>Intervalle d'extraction</b>	<b>425-490nm</b>
<b>Calibration</b>	<b>Chance and Kurucz (2010)</b>
<b><math>\text{NO}_2</math></b>	<b>Vandaele et al.(1998), 298K</b>
<b><math>\text{O}_3</math></b>	<b>Bogumil et al.(2003), 223K</b>
<b><math>\text{H}_2\text{O}</math></b>	<b>Harder and Brault 1997</b>

O <sub>4</sub>	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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> dans les mesures mobiles effectuées dans la ville de Kinshasa. La SCD<sub>strato</sub>  
223 utilisée pour chaque jour de mesure a été déduite des observations du satellite TROPOMI au-dessus de  
224 Kinshasa. Les AMF<sub>tropo</sub> et la SCD<sub>ref</sub> 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 NO<sub>2</sub>. 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

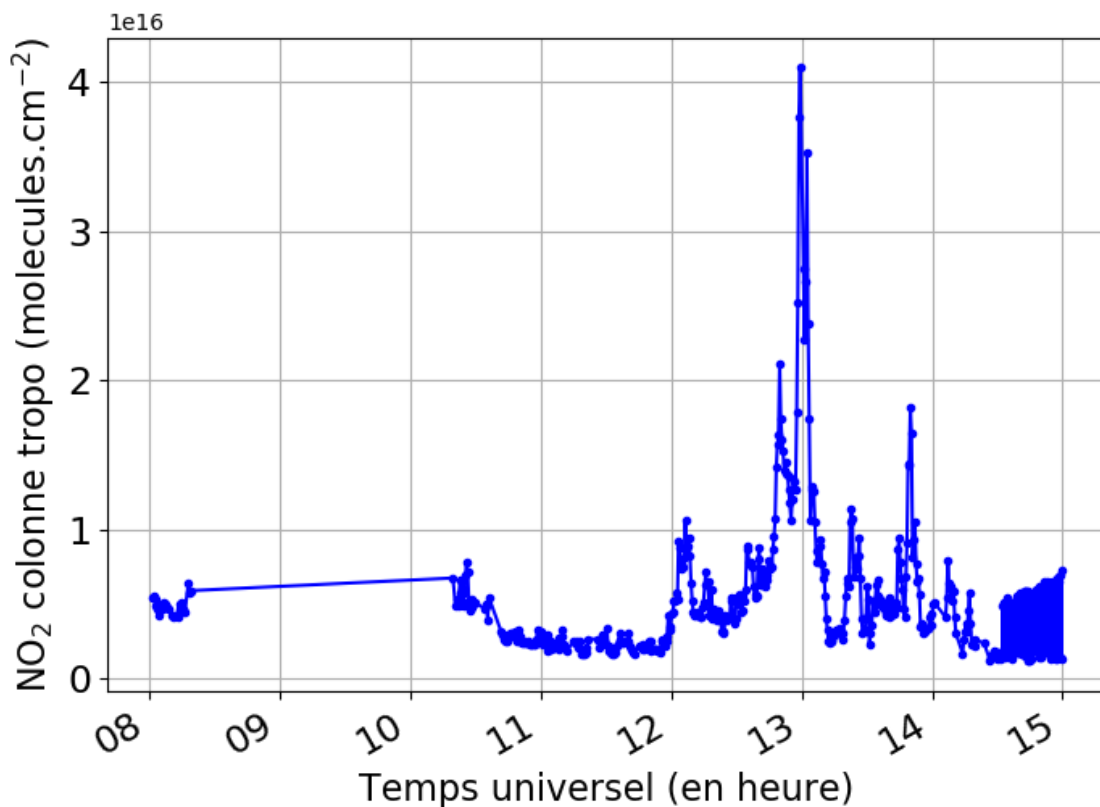
239

240

### 241 III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 242 III.1 Résultat

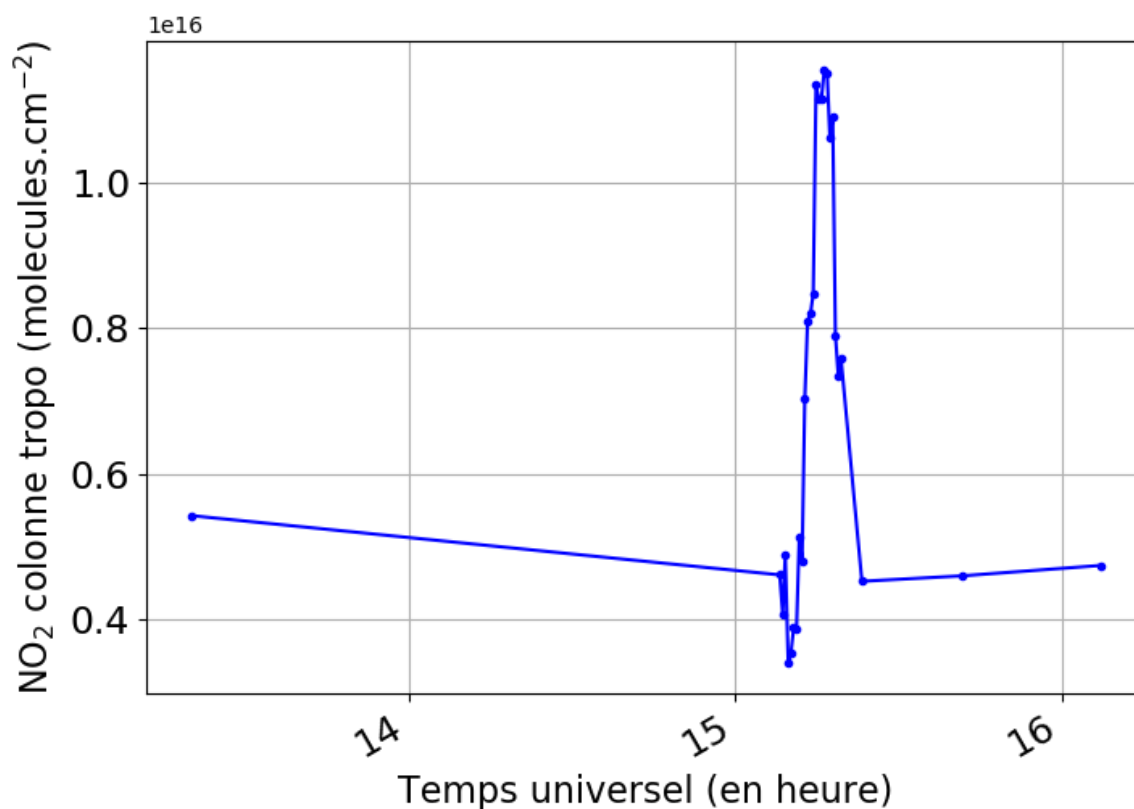
243 La figure 5 et 6 montrent les différentes valeurs de NO<sub>2</sub> mesurées le 14 et le 16 novembre 2019 dans la ville  
244 de Kinshasa.  
245



246  
247 Figure 5. Colonne verticale troposphérique de NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> troposphérique dérivé des mesures mobile du 16 novembre  
250 2019 en fonction des points de mesure montrent que le premier pic de NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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**

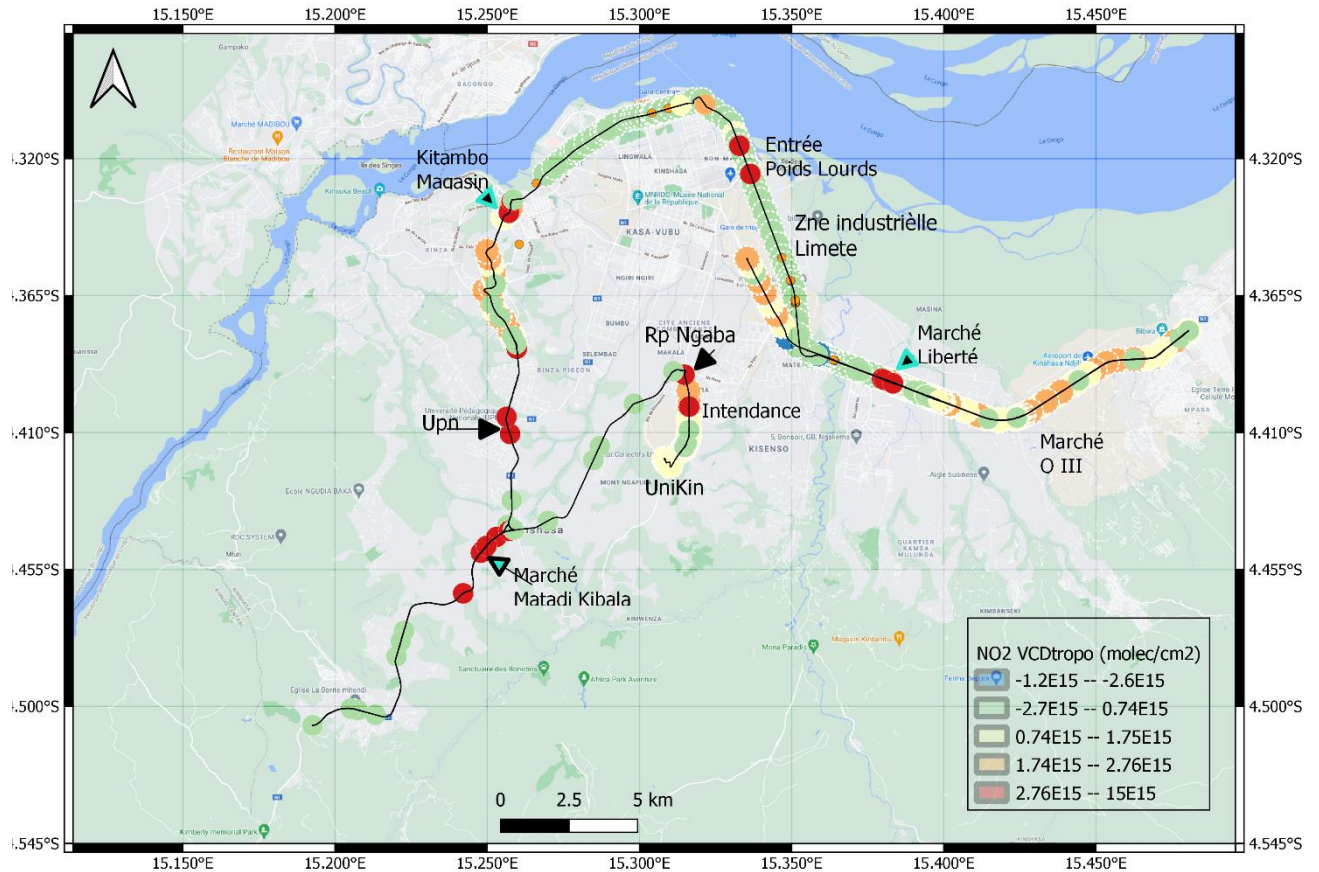
267 zones les plus susceptibles sont en couleurs rouge et orange. Ces zones sont : Rond-point Ngaba, Marché de  
268 Matadi Kibala, le rond-point UPN, le carrefour de Kintambo Magasin, Entrée Poids Lourds, Marché de  
269 Liberté, Les valeurs de NO<sub>2</sub> les plus hautes sont comprises entre 2 et  $15 \times 10^{15}$  molécules/cm<sup>2</sup>. Outre les  
270 mesures faites sur le NO<sub>2</sub>, 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 NO<sub>2</sub>, observés dans différentes communes de la ville de Kinshasa. Nous tâcherons 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 NO<sub>2</sub> à Kinshasa.**

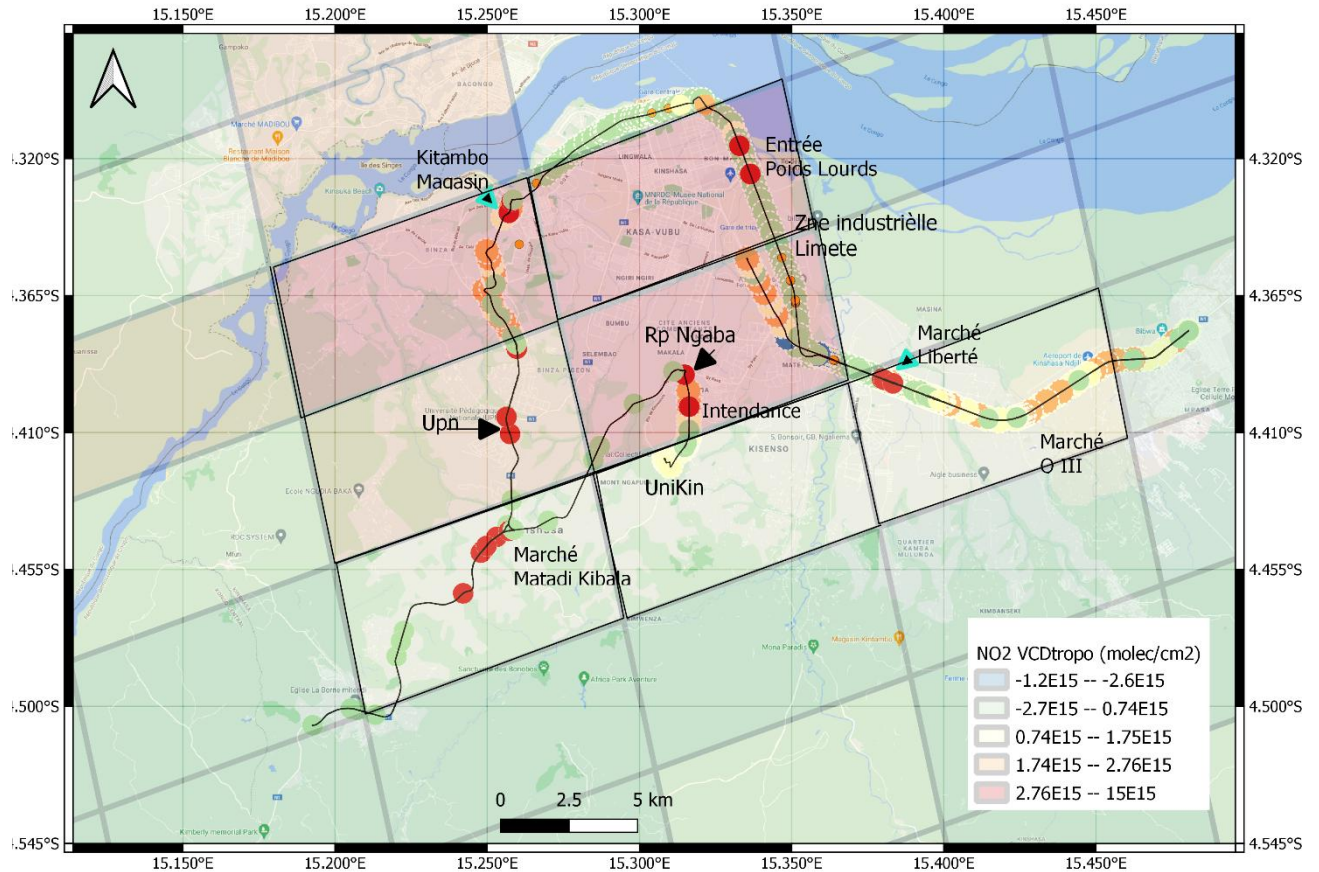
289 **Table 3 – Présentation des caractéristiques des sites à pics de pollutions élevés.**

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

		de la fumée Arrêts de bus
Kitambo Magasin	$10 \times 10^{15}$	Trafic intense Arrêts des bus
Limete industrielle	$10 \times 10^{15}$	Zones industrielles Trafic intense
Marché Liberté	$12 \times 10^{15}$	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 NO<sub>2</sub>, 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  (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 ( $\text{NO}_2$ ) montrent que les zones à trafic routier intense sont beaucoup plus impactées par les

389 valeurs plus grandes de NO<sub>2</sub>. 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 NO<sub>2</sub> était moins importante dans les  
393 parties de la ville à trafic fluide, où 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  $15 \times 10^{15}$  molécules/cm<sup>2</sup>. 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 NO<sub>2</sub> 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](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(03)00062-5)  
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>.
- 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>.
- 440 [5] Chen, D., B. Zhou, S. Beirle, L. M. Chen, and T. Wagner (2009) :Tropospheric NO<sub>2</sub> 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>.



- 443 [6] Ialongo, I., H. Virta, H. Eskes, J. Hovila, and J. Douros (2020) : Comparison of  
444 TROPOMI/Sentinel5 Precursor NO<sub>2</sub> 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 Roozendael, 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) :NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> absorption cross-section  
478 from 42 000 cm<sup>2</sup> to 10 000 cm<sup>2</sup> (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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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](mailto:tchoukoua@yahoo.fr)

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

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

520

521

522