

Évolution urbaine et pollution atmosphérique : analyse des concentrations de NO₂ et de CO dans le Grand Nokoué, Bénin

Urban Growth and Air Pollution : Analysis of NO₂ and CO Concentrations in the Grand Nokoué, Benin.

Auteur 1 : Péroge Foumilayo DAGOU.

Auteur 2 : Côovi Aimé Bernadin TOHOZIN.

Auteur 3 : Jules ODJOUBERE.

DAGOU Péroge Foumilayo, (MSc, Laboratoire LATEDD), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

Côovi Aimé Bernadin TOHOZIN, (MC, Laboratoire LATEDD), Enseignant-chercheur, Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'information Géospatiale (AFRIGIST), Nigeria.

Jules ODJOUBERE, (MC, Laboratoire LaBEE) Enseignant chercheur, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : DAGOU .P F, TOHOZIN .C A B & ODJOUBERE .J (2026). « Évolution urbaine et pollution atmosphérique : analyse des concentrations de NO₂ et de CO dans le Grand Nokoué, Bénin » », African Scientific Journal « Volume 03, Num 34 » pp: 0355 – 0372.



DOI : 10.5281/zenodo.18493433
Copyright © 2026 – ASJ



Résumé

La croissance urbaine rapide constitue l'un des principaux facteurs de dégradation de la qualité de l'air dans les villes africaines. Cette étude analyse la relation entre les mutations de l'espace urbain et la répartition des polluants atmosphériques dans le grand Nokoué au sud du Bénin, entre 2019 et 2025. L'approche méthodologique repose sur l'exploitation des images satellitaires Landsat OLI pour la cartographie de l'occupation du sol et des données Sentinel-5p pour l'estimation des concentrations du dioxyde d'azote (NO₂) et de monoxyde de carbone (CO), moyennées sur la saison sèche (janvier à mars). La dynamique urbaine a été évaluée à l'aide de l'indice de vitesse de l'urbanisme (IVU), calculée entre 2019 et 2025, révélant des dynamiques contrastées selon les communes : Ouidah (95,7%), Abomey-Calavi (92,3%), Sèmè-Podji (81,3%) et Porto-Novo (8,2%) enregistrent une forte croissance de la superficie bâtie, tandis que Cotonou présente une évolution très limitée (1,0%), traduisant une saturation spatiale. Les concentrations de NO₂ et de CO sont issues des données Sentinel-5p, avec des moyennes comprises entre 2,52 et 2,86 µg/m³ pour le NO₂ et entre 1 840,43 et 1 900,88 µg/m³ pour le CO. Il ressort de l'ensemble des analyses que la pollution atmosphérique dans le grand Nokoué est fortement influencée par l'intensité de l'urbanisation. Ces résultats soulignent la pertinence des outils géospatiaux pour l'étude et la gestion des phénomènes environnementaux complexes. Globalement, la présence accrue de ces polluants traduit une pression anthropique importante et constitue un enjeu majeur de santé publique et de gestion environnementale.

Mots-clés : Dynamiques spatiales, Pollution atmosphérique, NO₂ et CO, Télédétection, Grand Nokoué.

Abstract

Rapid urban growth is one of the main factors contributing to air quality degradation in African cities. This study analyzes the relationship between urban spatial transformations and the distribution of atmospheric pollutants in the grand Nokoué, southern Benin, between 2019 and 2025. The methodological approach is based on the use of Landsat OLI satellite imagery for land use mapping and Sentinel-5p data for estimating nitrogen dioxide (NO₂) and carbon monoxide (CO) concentrations, averaged over the dry season (January-March). Urban dynamics were assessed using the Urbanization Speed Index (USI), calculated between 2019 and 2025, revealing contrasting trends among municipalities: Ouidah (95,7%), Abomey-Calavi (92,3%), Sèmè-Podji (81,3%) and Porto-Novo (8,2%) show significant growth in built-up areas, whereas Cotonou exhibits very limited change (1,0%), reflecting spatial saturation. NO₂ and CO concentrations estimated from Sentinel-5P data (dry season) range from 2.52 to 2.86 µg/m³ for NO₂ and from 1,840.43 to 1,900.88 µg/m³ for CO. Overall, the results indicate that atmospheric pollution in the grand Nokoué is strongly influenced by the intensity of urbanization. These findings highlight the relevance of geospatial tools for the analysis and management of complex environmental phenomena in rapidly urbanizing areas. Overall, the increased presence of these pollutants reflects significant anthropogenic pressure and constitutes a major public health and environmental management challenge.

Keywords : Spatial dynamics, Air pollution, NO₂ and CO, Remote Sensing, Grand Nokoué.

Introduction

La qualité de l'air constitue aujourd'hui l'une des principales préoccupations environnementales à l'échelle mondiale en raison de ses impacts sur la santé humaine, les écosystèmes, le climat et la visibilité atmosphérique (OMS, 2021). Selon l'Organisation météorologique mondiale, les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique depuis l'ère préindustrielle ont entraîné une augmentation significative des concentrations atmosphériques de CO₂, CH₄ et N₂O, contribuant à une élévation de la température moyenne mondiale estimée entre 2 °C et 4 °C (GIEC, 2014). En effet, pour N'Guessan Bi et al. (2021), l'atmosphère est un espace très hétérogène constitué de plusieurs gaz et particules à des concentrations plus ou moins équilibrés pour la vie humaine.

Dans ce contexte, les polluants atmosphériques tels que le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO) suscitent une attention particulière, notamment en milieu urbain. Ils sont principalement issus de la combustion des énergies fossiles, des activités industrielles, du transport routier et de certaines pratiques agricoles (Seinfeld et Pandis, 2016). En plus de leurs effets irritants sur le système respiratoire, ces polluants participent à la formation de particules fines (PM_{2.5}) et de pluies acides, contribuant ainsi à la dégradation de la qualité de vie urbaine (European Environment Agency, 2020).

La répartition spatiale de ces polluants est fortement conditionnée par les dynamiques spatiales urbaines. Des facteurs tels que la structure de l'occupation du sol, la densité de population, la configuration du réseau routier, la localisation des sources d'émission et la direction des vents influencent directement la production, l'accumulation et la dispersion des polluants atmosphériques à l'échelle locale. Ces éléments modulent les interactions entre l'environnement urbain et l'air ambiant, déterminant ainsi les niveaux d'exposition des populations (Liu et al., 2017). Par ailleurs, les impacts des changements climatiques affectent l'ensemble des territoires, mais se manifestent avec une intensité accrue dans les espaces urbains, qui concentrent une part croissante de la population mondiale (Filiatreault, 2015).

Au Bénin, près de 20 % de la population vit aujourd'hui en zone urbaine (Amontcha, 2017). L'urbanisation rapide, souvent non planifiée, y engendre de profondes transformations spatiales, marquées par la réduction des espaces végétalisés, la densification du bâti, l'intensification des activités anthropiques et l'augmentation des flux de circulation. Dans la région du Grand Nokoué, qui regroupe les communes de Cotonou, Abomey-Calavi, Sèmè-Podji, Porto-Novo et Ouidah, ces mutations sont particulièrement prononcées et s'accompagnent d'un étalement urbain continu (Amontcha, 2017). Cette dynamique favorise la

multiplication des sources de pollution atmosphérique et complexifie les mécanismes de dispersion des polluants, notamment en raison de la faiblesse des infrastructures vertes urbaines. En effet, les villes du Grand Nokoué présentent une couverture en espaces verts publics largement inférieure au seuil de 10 m² par habitant recommandé par l'Organisation mondiale de la santé, limitant ainsi la capacité des écosystèmes urbains à atténuer la pollution atmosphérique. De plus, les hausses de température attendues sont susceptibles d'intensifier les réactions photochimiques responsables de la formation de polluants secondaires, aggravant davantage la dégradation de la qualité de l'air (GIEC, 2014). L'objectif de cet article est d'analyser la relation entre les mutations de l'espace urbain et la répartition des polluants atmosphériques dans le but d'une meilleure gestion environnementale et urbaine.

Dans ce contexte, la compréhension des interactions entre dynamiques spatiales et pollution atmosphérique apparaît essentielle. À cet égard, la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) constituent des outils performants pour cartographier ces dynamiques et analyser leurs impacts environnementaux à partir de données spatio-temporelles récentes (Gadal, 2008).

Malgré l'intérêt croissant pour les problématiques de qualité de l'air au Bénin, peu d'études ont mobilisé une approche intégrée combinant dynamiques urbaines et pollution atmosphérique dans les agglomérations en forte expansion telles que le Grand Nokoué. C'est dans l'optique d'une conscientisation globale de la population sur les gravités des polluants atmosphériques dans cette grande zone que le sujet intitulé « *Evolution urbaine et pollution atmosphérique : analyse des concentrations de NO₂ et de CO dans le Grand Nokoué, Bénin* » a été choisi.

Ce travail est structuré en deux points saillants qui sont le matériel et méthodes et la partie résultat combinée à la discussion.

1. Matériels et méthodes

1.1. Zone d'étude

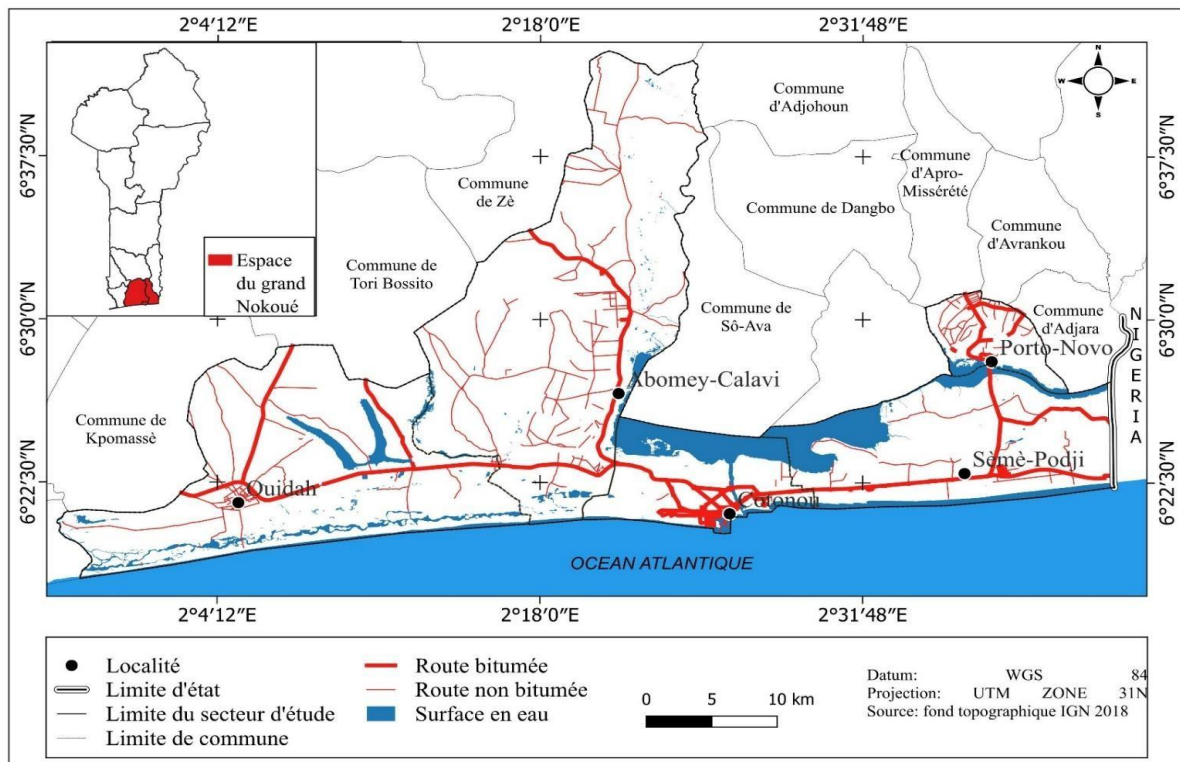
Le secteur d'étude concerne l'espace discontinu du grand Nokoué. Il est situé dans le sud du Bénin et regroupe les communes de Cotonou, Abomey-Calavi, Sèmè-Kpodji, Porto-Novo et Ouidah. Il constitue l'un des principaux pôles urbains et économiques du pays, avec une forte densité de population et une urbanisation rapide et souvent non planifiée.

La région est caractérisée par un climat tropical humide avec une saison sèche de janvier à mars, période choisie pour l'analyse des concentrations de polluants atmosphériques. Les activités

anthropiques majeures incluent le commerce, les transports routiers et l'industrie légère, qui contribuent significativement aux émissions de NO₂ et de CO.

Le relief est principalement plat, avec des zones littorales et lagunaires, ce qui influence la dispersion des polluants. Les espaces verts publics sont insuffisants, limitant la capacité naturelle d'absorption des polluants atmosphériques. La figure 1 présente la situation géographique du grand Nokoué.

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude



Source : Auteur

1.2. Données utilisées et sources de données

Les données utilisées sont présentées dans le tableau I avec leurs caractéristiques respectives.

Tableau 1: Caractéristiques des données

Données	Format	Date	Echelle ou résolution	Source	Utilité
Fichiers de formes	Shape	2018	1/200000	IGN Bénin	Extraction des limites de la zone d'étude
Landsat OLI	GeoTIFF	Janvier-mars (2019-2025)	30m	https://earthexplorer.usgs.gov	Cartographie de l'occupation du sol
Sentinel-5P) (Tropospheric Monitoring Instrument)	GeoTIFF	Janvier-mars (2019-2025)	5.5 km × 3.5 km	https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/	Estimation et caractérisation de la dispersion des polluants atmosphériques

Source : Auteur

1.3. Approche méthodologique

Il est particulièrement intéressant d'étudier le positionnement épistémologique de cette recherche sur la pollution atmosphérique à travers les concentrations de NO₂ et de CO.

En effet, le positionnement épistémologique de cette recherche sur la pollution atmosphérique à travers les concentrations de NO₂ et de CO oriente les choix méthodologiques et influence la nature des connaissances produites. Cette étude s'inscrit exclusivement dans une épistémologie positiviste. Elle repose sur l'hypothèse que la pollution est un phénomène objectif, mesurable et quantifiable, accessible par des instruments scientifiques (stations de mesure, capteurs, modèles de dispersion). Les concentrations observées sont considérées comme des faits empiriques permettant d'expliquer et de prédire des effets sur la santé et l'environnement à partir de relations causales. Toutefois, cette approche est souvent complétée par un positionnement post-positiviste, reconnaissant les limites de la mesure (incertitudes, variabilité spatio-temporelle) et intégrant des modèles statistiques et probabilistes pour interpréter les concentrations de NO₂ et de CO. Enfin, dans une perspective plus systémique et interdisciplinaire, la pollution atmosphérique peut être analysée comme une construction socio-environnementale, où les concentrations de NO₂ et de CO traduisent à la fois des processus physiques (émissions, transport, transformation) et des choix sociaux, économiques et territoriaux (mobilité, énergie, urbanisation). Ce positionnement croise ainsi les sciences

exactes, la santé publique et les sciences sociales pour une compréhension globale du phénomène.

L'approche méthodologique adoptée dans le cadre de cette étude se résume suivant deux points capitaux : l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol et l'évaluation des concentrations spatiales des polluants atmosphériques de NO₂ et du CO dans le grand Nokoué de 2019 à 2025.

1.3.1. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans le grand Nokoué de 2019 à 2025

Plusieurs opérations ont été faites pour analyser la dynamique de l'occupation du sol dans le grand Nokoué.

- **Traitement numérique des images**

Les images Landsat OLI ont été traitées à l'aide de la plateforme Google Earth Engine (GEE). Dans un premier temps, les images ont été filtrées afin d'exclure celles présentant une couverture nuageuse supérieure à 30 %. La zone d'étude correspondant au Grand Nokoué a ensuite été définie et utilisée pour le recadrage spatial des images.

Les bandes spectrales pertinentes ont été sélectionnées, puis un composite médian a été généré pour chaque année d'étude afin de réduire les effets des nuages résiduels et de la variabilité radiométrique. Les composites obtenus ont ensuite été limités à l'emprise spatiale de la zone d'étude.

- **Calcul des indices biophysiques**

Afin d'améliorer la discrimination des différentes classes d'occupation du sol, des indices biophysiques ont été calculés à partir des composites Landsat.

Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) a été utilisé pour identifier et caractériser la végétation. Il est défini par l'équation suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Où PIR représente la bande du proche infrarouge et R la bande du rouge.

Pour la détection des zones urbaines et des surfaces construites, le Normalized Difference Built-up Index (NDBI) a été calculé selon l'équation suivante :

$$NDBI = \frac{SWIR - PIR}{SWIR + PIR}$$

où *SWIR* correspond à la bande infrarouge à ondes courtes et *PIR* à la bande du proche infrarouge.

Les indices NDVI et NDBI ont été intégrés aux composites d'images afin d'enrichir l'information spectrale utilisée pour la classification.

- **Préparation des échantillons et classification supervisée**

La classification de l'occupation du sol a été réalisée à partir d'une classification supervisée pixel-based. Des échantillons représentatifs des différentes classes ont été collectés à partir des observations de terrain et de l'interprétation visuelle des images satellitaires. Les classes retenues sont : sol nu, végétation naturelle, plantations, cultures et jachères, plans d'eau et zones bâties.

Les échantillons ont été divisés en deux ensembles : 70 % pour l'entraînement du modèle et 30 % pour la validation. Le classificateur Maximum Likelihood a été appliqué en utilisant les bandes spectrales visibles ainsi que les indices NDVI et NDBI précédemment calculés.

- **Calcul de l'Indice de Vitesse de l'Urbanisation (IVU)**

Afin de quantifier la rapidité de l'expansion urbaine dans les différentes communes du Grand Nokoué, un Indice de Vitesse de l'Urbanisation (IVU) a été calculé entre 2019 et 2025. Cet indice exprime le pourcentage d'augmentation des surfaces bâties sur la période considérée et est défini par la formule suivante :

$$IVU(\%) = \frac{\text{Superficie bâtie}_{2025} - \text{Superficie bâtie}_{2019}}{\text{Superficie bâtie}_{2019}} * 100$$

Selon Glèlè (2014), cet indicateur permet de comparer la dynamique urbaine entre les communes en mettant en évidence celles où la croissance du bâti est la plus rapide. Les valeurs obtenues ont été intégrées à l'analyse des relations entre urbanisation et dispersion des polluants atmosphériques.

1.3.2. Evaluation des concentrations spatiales des polluants atmosphériques de NO₂ et du CO dans le Grand Nokoué entre 2019 et 2025.

L'évaluation de la qualité de l'air dans l'agglomération du Grand Nokoué repose sur l'estimation spatiale des concentrations de deux polluants atmosphériques majeurs : le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO). Les données utilisées proviennent des produits de niveau 2 (L2) du satellite Sentinel-5P, acquis par l'instrument TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument). Ces produits fournissent des informations sur la densité de colonne verticale des gaz atmosphériques, exprimées en mol/m², correspondant à la masse surfacique intégrée le long de la colonne atmosphérique. Afin d'analyser l'évolution temporelle des concentrations. Les bandes spectrales utilisées sont :

- CO_column_number_density pour le monoxyde de carbone
- NO2_column_number_density pour le dioxyde d'azote

* **Prétraitement des données Sentinel-5P dans Google Earth Engine**

Le prétraitement des données a été réalisé sur la plateforme Google Earth Engine (GEE). Un filtrage temporel a été appliqué afin de restreindre les images à la saison sèche, comprise entre le 1er janvier et le 31 mars pour les années 2019 et 2025. Ce choix vise à réduire l'influence de la couverture nuageuse et à obtenir des concentrations moyennes plus représentatives des conditions atmosphériques locales. Pour garantir la qualité des observations :

- Les images de NO₂ ont été filtrées à l'aide du paramètre qa_value, en conservant uniquement les pixels présentant une valeur supérieure ou égale à 0,75, conformément aux recommandations de l'ESA ;
- Pour le CO, en l'absence d'un indicateur de qualité équivalent, un filtrage basé sur la couverture nuageuse et la cohérence spatiale des données a été appliqué.

Les images retenues ont ensuite été agrégées par année à l'aide de la fonction reduce.mean() de GEE, permettant de produire des images composites représentant la concentration moyenne saisonnière de chaque polluant pour les périodes étudiées.

* **Conversion des concentrations en µg/m³**

Les données Sentinel-5P fournissent des concentrations sous forme de densités de colonne verticale (mol/m²). Afin d'obtenir une estimation de la concentration massique volumique (µg/m³), une conversion a été appliquée selon l'équation suivante :

$$\text{Concentration en } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{VCD} * \text{M} * 10^6}{\text{H}}$$

Avec :

- VCD représente la densité de colonne verticale (mol/m²) ;
- M correspond à la masse molaire du polluant (NO₂ = 46 g/mol ; CO = 28 g/mol) ;
- 10⁶ permet la conversion des grammes en microgrammes (1 g = 10⁶ µg) ;
- H représente la hauteur de la colonne atmosphérique (m).

Les masses molaires utilisées sont des constantes chimiques standardisées, issues du National Institute of Standards and Technology (NIST).

La hauteur de la colonne atmosphérique H a été fixée à 1000 m, valeur couramment adoptée pour représenter la couche limite atmosphérique en milieu urbain en l'absence de données locales spécifiques (ESA, 2020 ; Mhawish et al., 2021). Cette hypothèse est adaptée aux analyses régionales et à la comparaison relative des concentrations spatiales.

* **Visualisation et cartographie des concentrations**

Les cartes de concentrations moyennes de NO₂ et de CO obtenues ont été exportées au format GeoTIFF puis importées dans le logiciel QGIS. Des cartes thématiques ont été produites afin de comparer la distribution spatiale des polluants entre les années 2019 et 2025 à l'échelle du Grand Nokoué.

* **Analyse statistique spatiale**

Une analyse statistique spatiale a été réalisée à l'échelle communale. Les cartes de concentration ont été croisées avec la carte administrative du Grand Nokoué à l'aide d'une intersection spatiale, permettant d'extraire des statistiques descriptives (moyennes) pour chaque commune.

Ces valeurs ont servi à analyser les variations spatiales et temporelles des niveaux de pollution atmosphérique et à mettre en évidence les zones présentant des concentrations élevées de NO₂ et de CO.

2. Résultats et Discussion

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats en fonction des objectifs définis et de la discussion.

2.1. Cartographie de la dynamique de l'occupation du sol dans le grand Nokoué de 2019 à 2025.

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol passe par la description des différents états du paysage en 2019 et 2025. Les figures 2 et 3 présentent ces différents états.

Figure 2: Occupation du sol en 2019

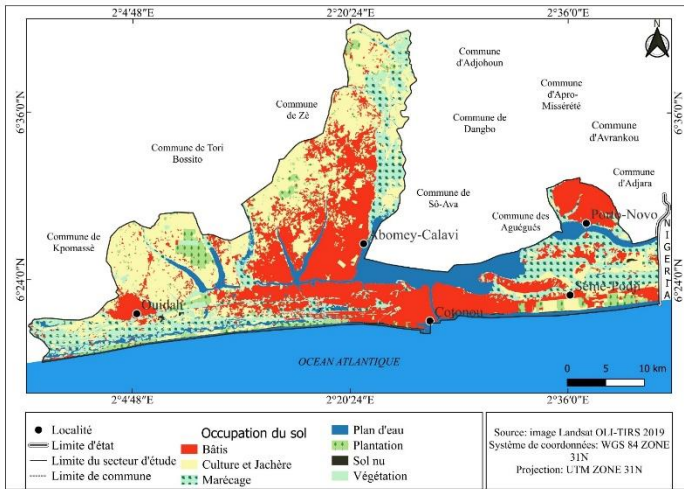
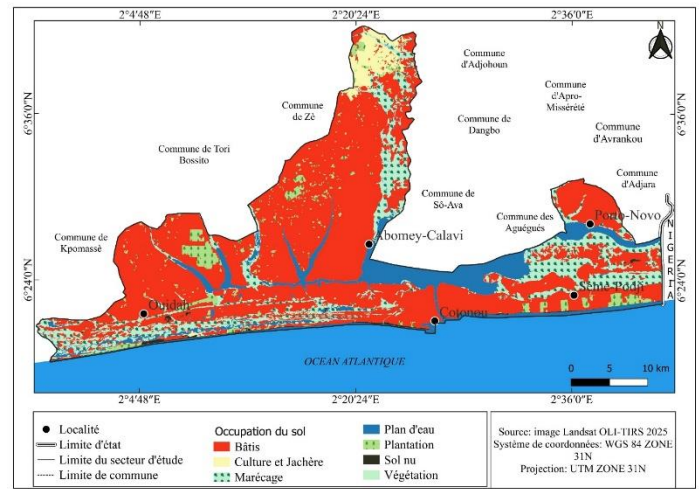


Figure 3: Occupation du sol en 2025



Source : Auteur

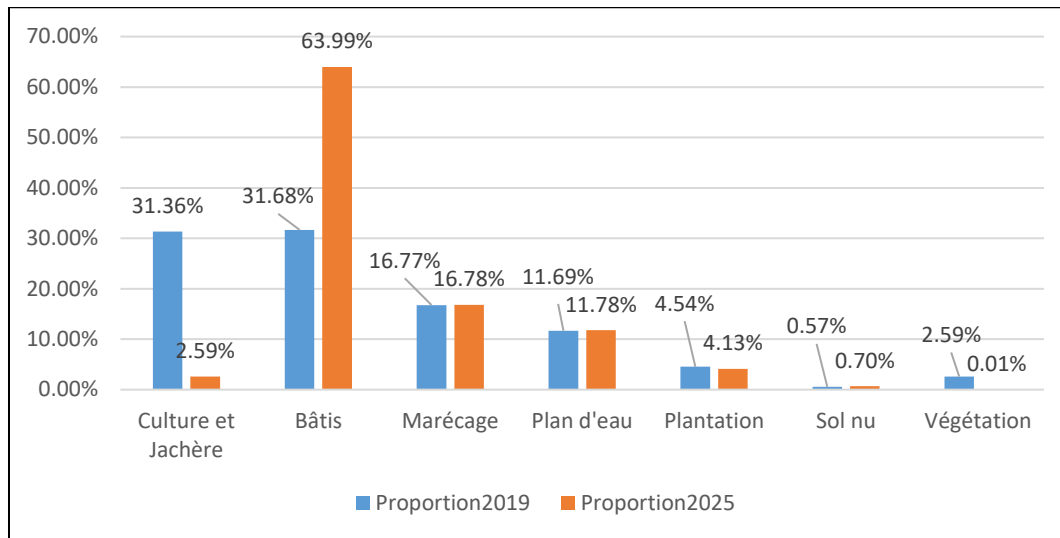
La figure 2 nous présente l’occupation du sol dans le grand Nokoué en 2019. Les classes identifiées sont : le bâti, les cultures et jachères ; les plantations ; les plans d’eau ; les sols-nus et la végétation. La physionomie de l’occupation du sol dans le grand Nokoué à cette date, est encore dominé par des zones agricoles et naturelles (jachères, plantations et végétation), tandis que les zones bâties sont relativement concentrées autour des centres urbains comme Cotonou, Abomey-Calavi et Porto-Novo. Les plans d’eau, notamment le lac Nokoué et les zones humides associées, occupent également une portion significative du territoire.

La figure 3 illustre l’évolution de l’occupation du sol à l’horizon 2025. On note une progression très marquée des surfaces bâties, notamment autour de Cotonou, Abomey-Calavi, Porto-Novo et Sèmè-Kpodji, traduisant une intensification de l’urbanisation. Cette extension s’est faite au détriment des zones agricoles, des espaces marécageux et de la végétation naturelle. Certaines zones initialement peu bâties en 2019 sont densément urbanisées en 2025.

2.1.1. Intensité de changement par catégorie d’occupation du sol entre 2019 et 2025

La figure 4 présente l’intensité des changements par catégorie d’occupation du sol entre 2019 et 2025.

Figure 4: Intensité de changement par catégorie d'occupation du sol entre 2019 et 2025



Source : Auteur

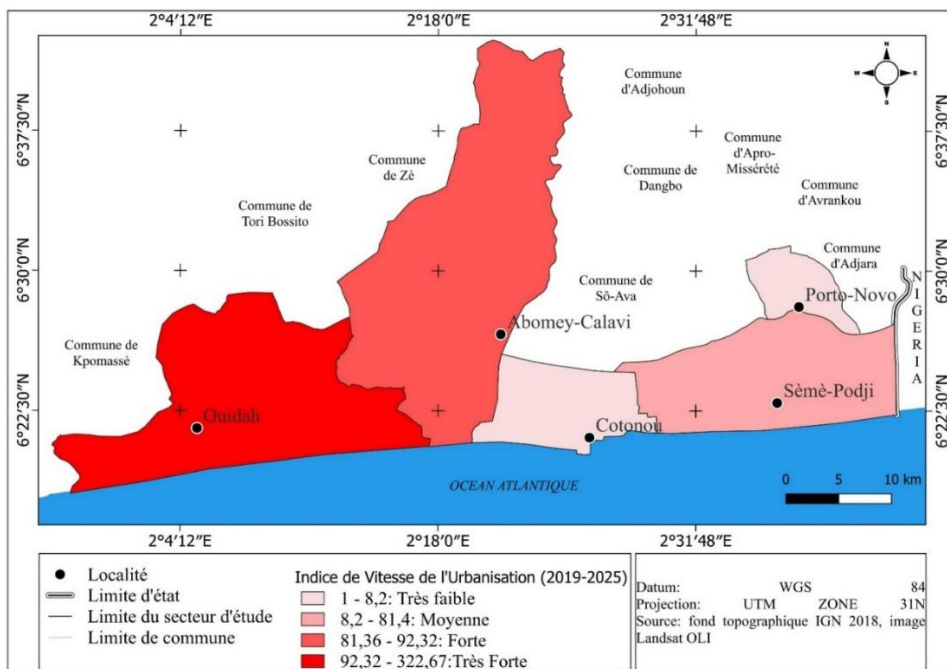
L'analyse de la figure 4 montre que le bâti et les cultures et jachères occupent une grande partie de la superficie du sol soit 31,68 % et 31,36% ensuite viennent les marécages (16,77 %) et les plans d'eau (11.69%). Les plantations, la végétation et les sols nus quant à eux occupent une petite portion soient 4,54%,2,59% et 0,5%. En 2025, le paysage du grand Nokoué est dominé par le bâti (63,99%) au détriment des autres entités. Cependant, les cultures et jachères occupent désormais une petite portion soit 2,59% de même que les plantations, les sols-nus et la végétation qui est quasi inexistante. Les seules unités restées stables sont les plans d'eau (11,78) et les marécages (16,80). La comparaison des cartes d'occupation du sol de 2019 et 2025 met en évidence une dynamique d'urbanisation intense dans l'ensemble du Grand Nokoué. L'extension du bâti s'effectue principalement au détriment des cultures, des plantations et de la végétation naturelle, traduisant une artificialisation progressive des surfaces.

2.1.3. Indice de Vitesse de l'Urbanisation (IVU)

L'Indice de Vitesse de l'Urbanisation (IVU), calculé entre 2019 et 2025, met en évidence des dynamiques contrastées entre les communes du Grand Nokoué.

La commune de Ouidah enregistre l'IVU le plus élevé, avec une valeur de 322,67 %, traduisant une multiplication par plus de quatre de la superficie bâtie. Abomey-Calavi (92,32 %) et Sèmè-Podji (81,36 %) présentent également une croissance rapide du bâti. Porto-Novo affiche une urbanisation modérée (8,16 %), tandis que Cotonou présente une évolution très faible (1,04 %), indiquant une saturation spatiale.

Figure 5: Indice de Vitesse de Urbanisation dans les Communes du grand Nokoué dans le Grand Nokoué entre 2019 et 2025.



Source : Auteur

La carte de répartition spatiale de l'IVU de la figure 5, met en évidence une urbanisation faible à très faible dans les communes déjà densément bâties, et une urbanisation forte à très forte dans les zones périurbaines.

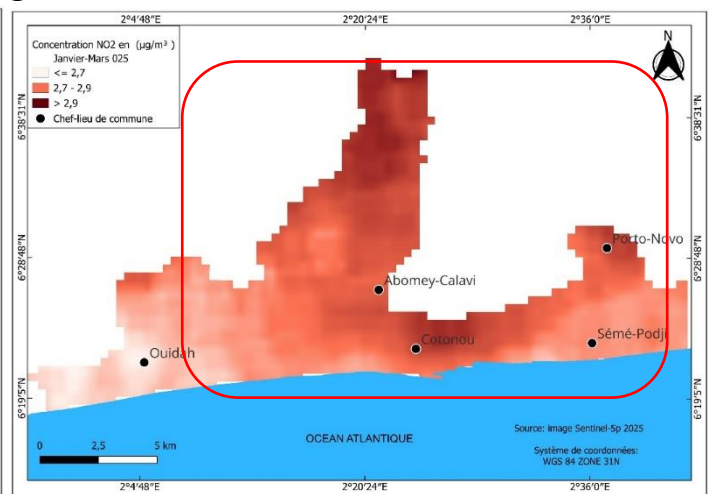
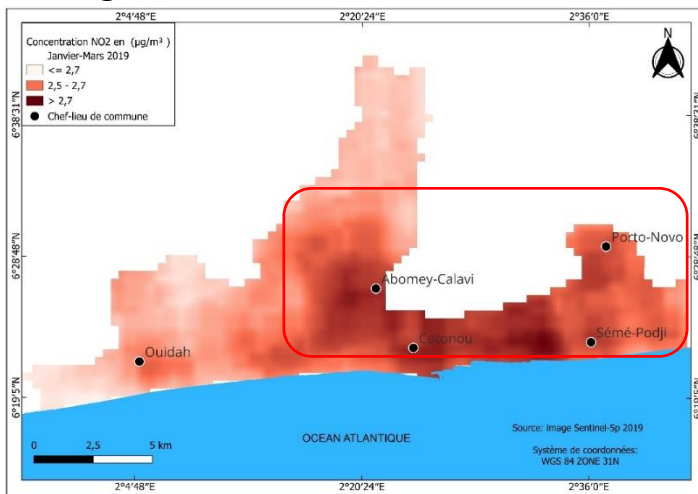
2.2. Évolution spatiale des concentrations de dioxyde d'azote (NO₂)

2.2.1. Distribution spatiale du NO₂ entre 2019 et 2025

Les figures 6 et 7 montrent les concentrations du dioxyde d'azote de 2019 à 2025

Figure 6: Concentration du NO₂ en 2019

Figure 6: Concentration du NO₂ en 2025



Source : Auteur

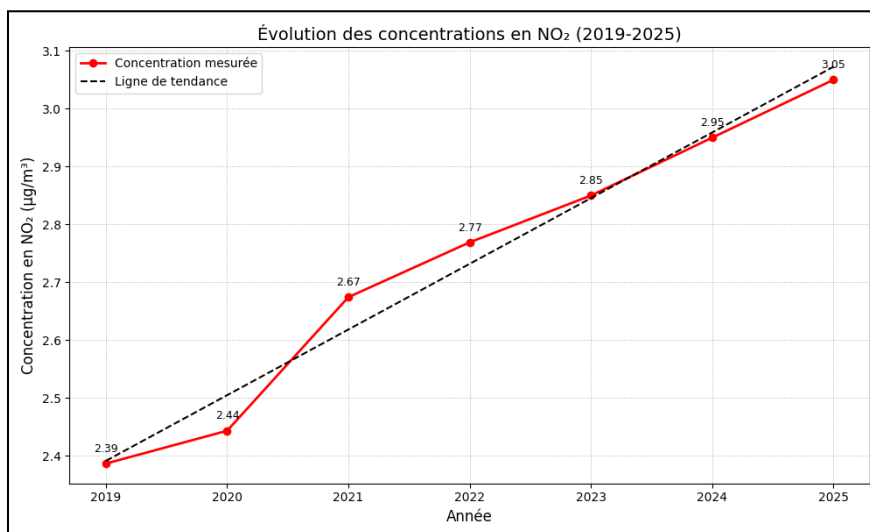
La carte des concentrations de dioxyde d'azote en 2019 (Figure 6) montre que les niveaux les plus élevés sont localisés dans les zones fortement urbanisées, notamment à Cotonou, Abomey-Calavi et Sèmè-Podji. Les concentrations dépassent localement $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que les zones périphériques présentent des valeurs plus faibles.

En 2025, la distribution spatiale du NO_2 révèle une extension et une intensification des zones à fortes concentrations (Figure 7). Les communes d'Abomey-Calavi, Sèmè-Podji et Porto-Novo présentent une augmentation notable des niveaux de NO_2 , tandis que de nouvelles zones affectées apparaissent à Ouidah. Cette évolution traduit une aggravation progressive de la pollution atmosphérique.

➤ **Variation temporelle du NO_2 entre 2019 et 2025**

L'analyse de la variation annuelle du NO_2 montre une augmentation progressive des concentrations moyennes, passant d'environ $2,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019 à $3,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2025. Cette tendance traduit une dégradation graduelle de la qualité de l'air sur la période étudiée (Figure 8).

Figure 7: Variation du dioxyde d'azote de 2019 à 2025



Source : Auteur

2.2.2. Évolution spatiale des concentrations de monoxyde de carbone (CO)

➤ **Distribution spatiale du CO de 2019 à 2025**

Les figures 9 et 10 montrent les concentrations du monoxyde de carbone de 2019 à 2025.

Figure 8: Concentration du CO en 2019

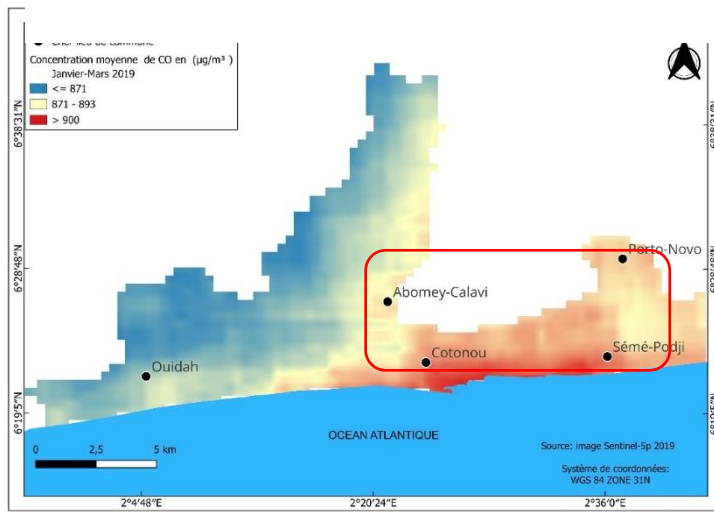
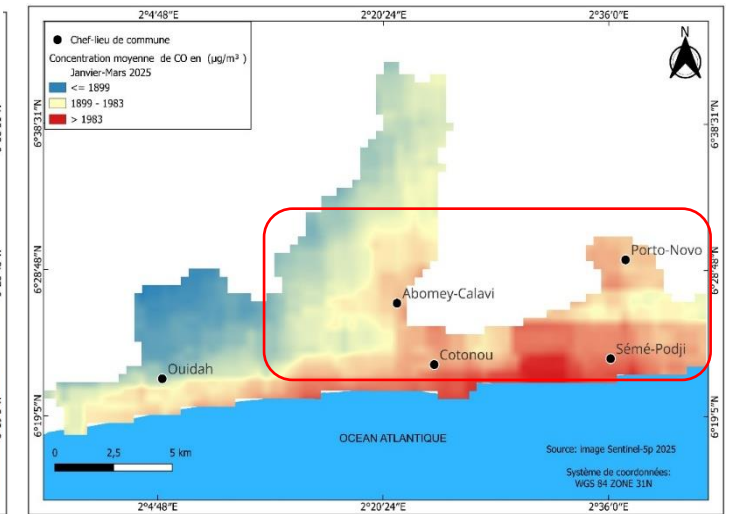


Figure 9: Concentration du CO en 2025



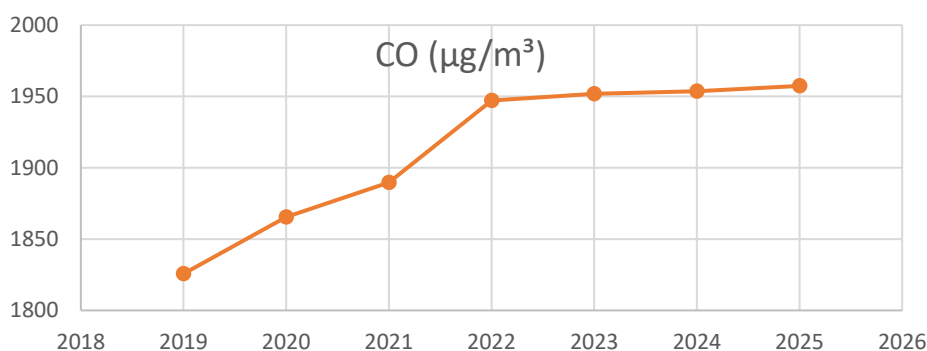
Source : Auteur

En 2019, les concentrations de monoxyde de carbone les plus élevées sont observées principalement à Cotonou et Sèmè-Podji, avec des valeurs supérieures à $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 9). Les zones périphériques, notamment Ouidah et certaines parties de Porto-Novo, présentent des niveaux plus faibles.

La carte de 2025 (Figure 10) montre une généralisation des concentrations élevées de CO dans la zone urbanisée centrale, incluant Cotonou, Abomey-Calavi et Sèmè-Podji. Les valeurs atteignent localement plus de $1980 \mu\text{g}/\text{m}^3$, traduisant une dégradation notable de la qualité de l'air.

➤ **Variation temporelle du monoxyde de carbone entre 2019 à 2025**

Figure 10: Variation du monoxyde de carbone de 2019 à 2025



Source : Auteur

Les concentrations moyennes de CO augmentent progressivement entre 2019 et 2025, passant d'environ 1 820 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 1 960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 11). Cette augmentation est particulièrement marquée entre 2020 et 2022.

➤ **Évolution des concentrations de NO₂ et de CO par commune**

Figure 12 : Evolution par commune des concentrations du monoxyde de carbone

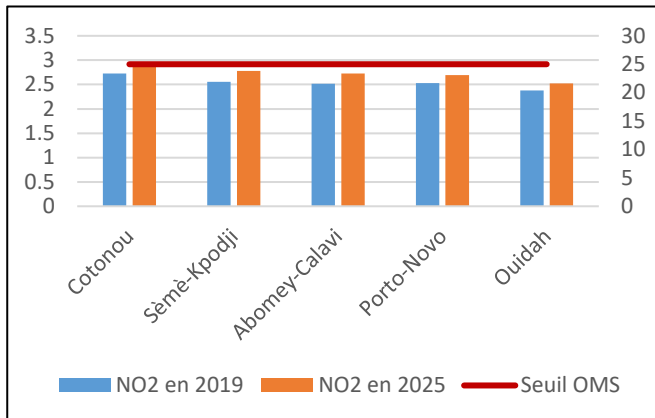
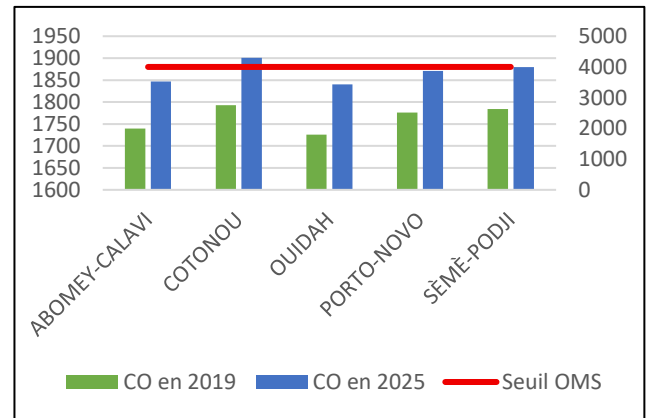


Figure 13 : Evolution par commune des concentrations du dioxyde d'azote



Source : Auteur

L'analyse par commune révèle une augmentation des concentrations de NO₂ et de CO entre 2019 et 2025 dans l'ensemble du grand Nokoué. Pour le NO₂, Sèmè-Podji présente les concentrations les plus élevées, suivie de Cotonou et d'Abomey-Calavi, tandis que Ouidah reste la moins exposée. Concernant le CO, Cotonou enregistre les niveaux les plus élevés, suivie de Sèmè-Podji et Porto-Novo, alors qu'Abomey-Calavi présente les valeurs les plus faibles. La comparaison des concentrations moyennes aux seuils de l'Organisation mondiale de la santé montre que les niveaux de NO₂ et de CO restent globalement inférieurs aux normes recommandées. Toutefois, la tendance à la hausse observée entre 2019 et 2025 souligne une pression croissante sur la qualité de l'air dans le Grand Nokoué.

Conclusion

Cette étude a analysé l'évolution urbaine sur la pollution atmosphérique dans le grand Nokoué entre 2019 et 2025, à travers l'estimation des concentrations de dioxyde d'azote et de monoxyde de carbone à partir des données satellitaires Sentinel-5p, combiné aux images Landsat OLI pour la cartographie de l'occupation du sol.

Les résultats mettent en évidence une urbanisation rapide et différenciée dans le Grand Nokoué, marquée par une forte extension des surfaces bâties au détriment des espaces agricoles et végétalisés. Le calcul de l'Indice de Vitesse de l'Urbanisation (IVU) révèle des dynamiques contrastées, avec une urbanisation particulièrement accélérée dans les communes périurbaines telles que Ouidah, Abomey-Calavi et Sèmè-Podji, tandis que Cotonou présente une croissance spatiale très limitée, traduisant une saturation du tissu urbain.

L'analyse des données Sentinel-5P montre une augmentation progressive des concentrations de NO₂ et de CO sur la période étudiée, avec des niveaux plus élevés dans les zones fortement urbanisées et densément peuplées. La superposition des cartes d'occupation du sol et des concentrations de polluants révèle une forte concordance spatiale entre l'extension du bâti et les zones de forte pollution atmosphérique, confirmant l'influence des dynamiques urbaines sur la dégradation de la qualité de l'air. Bien que les concentrations moyennes de NO₂ et de CO restent globalement inférieures aux seuils recommandés par l'Organisation mondiale de la santé, la tendance à la hausse observée entre 2019 et 2025 constitue un signal d'alerte, notamment dans les communes connaissant une urbanisation rapide. Ces résultats soulignent la nécessité d'intégrer la qualité de l'air dans les politiques d'aménagement du territoire et de renforcer les stratégies de planification urbaine durable.

Enfin, cette étude met en évidence l'apport des outils de télédétection et des systèmes d'information géographique pour le suivi de la pollution atmosphérique dans des contextes urbains à forte dynamique spatiale. Elle ouvre des perspectives de recherche futures, notamment par l'intégration de données in situ, l'analyse de l'influence des conditions météorologiques (vents, température) et l'évaluation des impacts sanitaires liés à l'exposition chronique aux polluants atmosphériques dans le Grand Nokoué.

Références bibliographiques

Amontcha, A.A.M. (2017) : Typologie et répartition des espaces verts publics dans le Grand-Nokoué (Sud Bénin), *European Scientific Journal*, Vol.13, No.21 ISSN : 1857 7881 (Print) eISSN 1857-7431,17,19p.

European Environment Agency. (2020): Air quality in Europe, 2020 reports. EEA Report No9/2020. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

Filiatreault, Y. (2015) : Changement climatique et îlot de chaleur Indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation, *Maitrise en environnement*, Université de Sherbrooke, 93p

GIEC (2014) : Résumé à l'intention des décideurs de la synthèse du rapport d'évaluation du GIEC, 7-10, 40p.

Gnele, J. E. (2010) : Dynamique de planification urbaine et perceptive de développement durable à Cotonou (République du Benin). Thèse en Géographie et Gestion de l'Environnement. UAC. 339p.

IPCC. (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. [IPCC - Task Force on National Greenhouse Gas Inventories](#)

Liu, Y., Song, Y., Zhou, Y., et Zhang, Z. (2017): The impact of urbanization on air pollution: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 161, 189–199, 31p.

Mhawish, A., Banerjee, T., Sorek-Hamer, M., Lyapustine, A., Broday, D.M. et Chatfield, R. (2019) : Comparaison et évaluation de la mise en œuvre multi-angles MODIS du produit aérosol de correction atmosphérique (MAIAC) en Asie du Sud. *Téledétection de l'environnement*, 224, 12-28. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.033>

National Institute of Standards and Technology. (2024). NIST Chemistry WebBook. U.S. Department of Commerce.

N'Guessan, Bi V.H., Lazile, S., Loukou, J.A., Saley, M. B., & Affian, K. (2021). Estimation des concentrations et cartographie de la dynamique des polluants atmosphériques particuliers dans la ville d'Abidjan. *European Scientific Journal*, ESJ, 17(43), 116. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p116>.

Seinfeld, J. H., et Pandis, S. N. (2016): Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change (3rd ed.). John Wiley & Sons, 1152p

WHO. (World Health Organization). (2021): Ambient (outdoor) air pollution. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)