



Research Article

Universal Journal of Life and Environmental Sciences 2026. Vol 8, Pages 74-87 Serie 1

Submission (28 April 2026) Accepted and Published (13 July 2026) www.ijarme.org

Pollution atmosphérique en milieu urbain tropical : diagnostic, inventaire des sources et stratégies de gestion à Douala (Cameroun)

NKENG George Elambo ^{1*} et KOUOTOU ABDOU Junior¹

¹ Ecole Nationale Supérieure des Travaux public de Yaoundé

PB 150. Département du génie environnement, Yaoundé Cameroun.

*Correspondance : gnkeng@yahoo.fr; Tel : +237 677700507

Résumé

La dégradation de la qualité de l'air constitue l'un des défis environnementaux et sanitaires les plus pressants dans les grandes métropoles africaines. Cet article porte sur la qualité de l'air à Douala, capitale économique du Cameroun, à travers l'établissement d'un diagnostic, l'identification des principales sources de pollution atmosphérique d'origine anthropique et la formulation de pistes d'amélioration adaptées au contexte local. L'étude repose sur une campagne de mesure réalisée sur vingt-cinq points de prélèvement répartis dans cinq zones représentatives de la ville (Bonabéri, Akwa, l'Aéroport, Bonapriso et Bonanjo) au cours de laquelle les concentrations en PM_{2,5}, PM₁₀, composés organiques volatils totaux (TVOC), formaldéhyde (HCHO), température ambiante et humidité relative ont été collectées à l'aide de micro-capteurs géolocalisés. L'inventaire des sources d'émission a été réalisé selon la méthode EMEP/EEA Tier 1, appliquée aux trois secteurs identifiés comme émetteurs majeurs : le secteur aéroportuaire, le secteur industriel et le secteur du transport routier. Les résultats montrent que les zones de Bonabéri, d'Akwa et de l'Aéroport enregistrent les concentrations les plus élevées, dépassant régulièrement les valeurs guides de l'OMS 2021 et de la norme camerounaise NC 2856 pour les PM_{2,5} et les PM₁₀. L'inventaire des émissions révèle que le transport routier domine massivement pour les polluants affectant directement la santé (NO_x, CO, PM₁₀, COVNM), tandis que la cimenterie Dangote constitue la première source locale de CO₂. Les pistes d'amélioration proposées s'articulent autour de trois axes : la réduction des émissions à la source, l'amélioration de la gestion des flux de pollution et le renforcement du dispositif institutionnel de surveillance.

Mots clés : Pollution Atmosphérique, Qualité de L'air, Douala, Sources d'Emission, particules.

Abstract

Air quality degradation is one of the most pressing environmental and public health challenges facing African cities today. This paper examines air quality in Douala, Cameroon's economic capital, through a diagnostic assessment, the identification of major anthropogenic pollution sources, and the formulation of context-specific improvement measures. The study is based on a field measurement campaign conducted at twenty-five sampling points across five representative urban zones (Bonabéri, Akwa, the Airport, Bonapriso and Bonanjo) during which PM_{2.5}, PM₁₀, total volatile organic compounds (TVOC), formaldehyde (HCHO), ambient temperature and relative humidity were measured using geolocated micro-sensors. Emission inventories were produced using the EMEP/EEA Tier 1 methodology applied to three major emitting sectors: aviation, cement industry and road transport. Results show that Bonabéri, Akwa and the Airport zone record the highest pollutant concentrations, regularly exceeding WHO 2021 air quality guidelines and the Cameroonian standard NC 2856 for PM_{2.5} and PM₁₀. The emission inventory reveals that road transport is by far the dominant source for health-relevant pollutants (NO_x, CO, PM₁₀, NMVOCs), while the Dangote cement plant is the largest local source of CO₂. Recommended improvement measures are structured around three axes: source emission reduction, pollution flow management, and institutional monitoring capacity building.

Keywords : Air Pollution, Air Quality, Douala, Emission Sources.

I. introduction

Depuis plusieurs décennies, les questions environnementales occupent une place de plus en plus centrale dans les débats scientifiques et politiques à l'échelle mondiale. La nature subit des pressions croissantes liées à l'urbanisation, à l'industrialisation et à l'exploitation intensive des ressources naturelles, se manifestant par la dégradation de la qualité de l'air, la perte de biodiversité et les perturbations climatiques. Face à cette réalité, la communauté internationale a progressivement reconnu l'urgence d'agir. La pollution atmosphérique demeure aujourd'hui l'un des principaux risques environnementaux pour la santé humaine : selon l'Organisation Mondiale de la Santé, près de 99 % de la population mondiale respire un air dont la qualité ne respecte pas les valeurs guides recommandées (OMS, 2021). Des mécanismes de coopération internationale ont ainsi été mis en place, depuis la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de 1979 jusqu'à l'Accord de Paris de 2015, qui fixe l'objectif de contenir le réchauffement climatique bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels. En Afrique, ces préoccupations se traduisent concrètement par des inondations, des sécheresses et une dégradation progressive des conditions de vie des populations.

L'air atmosphérique est caractérisé par un ensemble de paramètres physiques, chimiques et dynamiques qui permettent de décrire son état à un moment et en un lieu donnés. Sa composition naturelle comprend environ 78 % de diazote, 21 % de dioxygène, 0,93 % d'argon et 0,04 % de dioxyde de carbone, auxquels s'ajoutent la vapeur d'eau et des gaz en traces comme le méthane et l'ozone. Des facteurs météorologiques tels que la température, l'humidité, la pression atmosphérique et le vent influencent directement la dispersion ou l'accumulation des polluants dans l'air. Par exemple, une inversion thermique empêche la dispersion verticale des polluants et provoque leur concentration dans les basses couches de l'atmosphère, aggravant ainsi les épisodes de pollution. Une humidité élevée, quant à elle, favorise la transformation de certains gaz comme le dioxyde de soufre en acides responsables des pluies acides, et contribue à la formation des particules fines, particulièrement nocives pour la santé.

Les sources de pollution atmosphérique se divisent en deux grandes catégories : les sources naturelles et les sources d'origine humaine, dites anthropiques. Les sources naturelles regroupent les éruptions volcaniques, les feux de forêt, les tempêtes de sable et les émissions biologiques de la végétation et des océans. Cependant, ce sont les sources anthropiques qui constituent aujourd'hui la principale menace pour la qualité de l'air. Le secteur des transports est l'une des sources majeures en milieu urbain, avec des émissions mondiales de CO₂

avoisinant les 8 milliards de tonnes en 2022 (Agence Internationale de l'Énergie, 2022). Les activités industrielles, notamment la production de ciment qui représente à elle seule près de 7 % des émissions mondiales de CO₂, s'y ajoutent (PNUE, 2024). Le secteur de l'énergie est quant à lui responsable de plus de 75 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (AIE, 2024). L'agriculture contribue également de manière significative, étant responsable d'environ 40 % des émissions anthropiques de méthane et de près de 70 % des émissions mondiales de protoxyde d'azote (FAO). Enfin, l'usage domestique de combustibles polluants comme le bois ou le charbon est responsable d'environ 3,2 millions de décès prématurés chaque année dans le monde (OMS, 2024).

La pollution atmosphérique a des effets graves et documentés sur la santé humaine. L'exposition aux polluants gazeux et particulaires provoque ou aggrave de nombreuses maladies respiratoires, notamment les infections respiratoires aiguës et la broncho-pneumopathie chronique obstructive (OMS, 2024). Les enfants sont particulièrement vulnérables, leur système respiratoire étant encore en développement : plus de 90 % des enfants dans le monde respirent quotidiennement un air pollué (OMS, 2018). Au-delà du système respiratoire, les particules fines pénètrent dans la circulation sanguine et provoquent des inflammations vasculaires, augmentant significativement les risques d'hypertension artérielle, d'infarctus du myocarde et d'accidents vasculaires cérébraux. L'OMS estime à près de 1,9 million le nombre de décès cardiovasculaires attribués chaque année à la pollution atmosphérique (OMS, 2024). Ces données confirment que la qualité de l'air constitue un enjeu sanitaire majeur, en particulier dans les villes en pleine expansion comme Douala.

Sur le plan climatique, le dérèglement résulte principalement de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère due aux activités humaines depuis la révolution industrielle. L'Organisation Météorologique Mondiale a confirmé que l'année 2024 a été la première à franchir le seuil de +1,5 °C de réchauffement moyen par rapport à l'ère préindustrielle (OMM, 2025). Ce réchauffement intensifie la formation d'ozone troposphérique, un polluant secondaire particulièrement préoccupant, issu de réactions photochimiques entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils sous l'effet du rayonnement solaire. Contrairement à l'ozone stratosphérique qui protège la Terre, l'ozone troposphérique est nocif pour la santé et contribue au réchauffement climatique.

Cet article s'interroge sur la qualité de l'air à Douala, les sources de pollution atmosphérique qui la dégradent et les pistes envisageables pour y remédier. Il repose sur l'hypothèse que, dans une

grande agglomération urbaine comme Douala, la pollution atmosphérique est principalement d'origine anthropique, et que l'identification précise de ses sources constitue le préalable indispensable à toute amélioration durable de la qualité de l'air. L'objectif général est d'évaluer la qualité de l'air sur le périmètre d'étude, d'identifier les principales sources d'émission et de proposer des mesures adaptées ainsi

qu'un indice de qualité de l'air. Pour y parvenir, trois objectifs spécifiques ont été poursuivis : établir un diagnostic de la qualité de l'air sur l'ensemble du périmètre, identifier les sources potentielles d'émission de polluants atmosphériques, et formuler des mesures préventives et correctives adaptées au contexte local.

II. Matériels et méthodes

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1.1. Présentation du milieu physique et humain

La zone d'étude couvre trois communes d'arrondissement de la Communauté Urbaine de Douala : Douala I^{er} (Akwa, Bonanjo, Bonapriso), Douala IV (Bonabéri) et Douala V (Bonamoussadi). La Communauté Urbaine de Douala constitue la capitale économique et le principal pôle urbain d'Afrique centrale.



Figure 5 : Cartographie de la zone d'étude

Relief

La zone d'étude présente une topographie contrastée. Douala I^{er} et Douala IV, en bordure de l'estuaire du Wouri, se caractérisent par un relief globalement bas et plat. Bonanjo occupe une légère éminence naturelle, Akwa un relief plat à légèrement surélevé, tandis que Bonapriso bénéficie d'un relief légèrement vallonné offrant un drainage naturel satisfaisant. Bonabéri repose sur un relief plat à légèrement ondulé typique des zones littorales. Bonamoussadi présente le relief le plus accidenté, avec collines, dépressions et vallées.

Climat

L'ensemble de la zone d'étude est soumis à un climat équatorial humide de type guinéen (selon Köppen), avec des précipitations annuelles dépassant régulièrement 4 000 mm et des températures moyennes oscillant entre 24°C et 32°C. Des microclimats s'observent selon la densité de la végétation : Akwa et Bonanjo, fortement minéralisés, sont les plus affectés par l'îlot de chaleur urbaine, avec des températures pouvant atteindre 34 à 36°C en saison sèche. Bonapriso et Bonamoussadi bénéficient d'un microclimat plus frais grâce à une végétation plus développée, Bonabéri enregistre une humidité relative dépassant fréquemment 85 %.

Hydrographie

Le fleuve Wouri structure l'ensemble de la zone d'étude, son estuaire séparant Douala I^{er} de Douala IV. Un réseau dense de marigots et de canaux de drainage traverse les trois arrondissements. L'état de dégradation

généralisé de ce réseau, lié aux dépôts de déchets et aux rejets d'eaux usées, constitue un facteur aggravant des risques sanitaires et environnementaux sur l'ensemble de la zone.

Végétation et démographie

La couverture végétale est fortement différenciée selon le degré d'urbanisation, allant d'une quasi-absence de végétation dans les quartiers centraux à des espaces de végétation secondaire à Bonamoussadi. Sur le plan démographique, la zone présente une stratification sociale nette, allant des hauts fonctionnaires et expatriés de Bonanjo et Bonapriso à la classe moyenne de Bonamoussadi, en passant par la population commerçante cosmopolite d'Akwa.

II.1.2. Spécificités des cinq zones d'étude

Le périmètre d'étude se subdivise en cinq zones réparties sur Douala I^{er}, Douala IV et Douala V, chacune présentant un profil géographique, économique et humain distinct : Bonabéri, marquée par une importante zone industrielle de 192 hectares regroupant entre 70 et 88 entreprises (aciérie, agroalimentaire, cimenterie, métallurgie) ; Akwa, centre commercial historique de la ville ; Bonamoussadi, quartier résidentiel périphérique en forte croissance ; Bonapriso, l'Aéroport international et le port de pêche de Youpwé ; et Bonanjo, quartier administratif concentrant les grandes institutions de l'État et les sièges sociaux d'entreprises.

II.2. Collecte des données

Pour mener à bien cette étude, une démarche méthodologique reposant sur quatre objectifs spécifiques a été adoptée, combinant données primaires collectées sur le terrain et données secondaires issues de sources institutionnelles. Cette section traite des objectifs 1 et 3 de la recherche.

II.2.1. Objectif 1 : Diagnostic de la qualité de l'air à Douala

Cet objectif vise à établir un état des lieux précis de la qualité de l'air dans le périmètre d'étude, à travers la mesure des concentrations des principaux polluants atmosphériques et des paramètres climatiques associés, afin d'identifier les zones les plus exposées.

Les données primaires

Les données primaires sont celles collectées directement sur le terrain, aux points définis dans le périmètre d'étude.

Découpage du périmètre et points de mesure

Pour couvrir de manière représentative la diversité des environnements urbains de Douala (zones résidentielles, axes de trafic dense, quartiers industriels, espaces périurbains), le périmètre d'étude a été subdivisé en cinq sous-zones homogènes. Dans chacune, cinq points de mesure ont été définis, espacés d'environ un kilomètre les uns des autres, soit un total de vingt-cinq points de prélèvement sur l'ensemble du périmètre.

Protocole de mesure sur site

Pour chaque point, les mesures ont été effectuées sur deux plages horaires quotidiennes : le matin, de 8h à 11h, période des heures de pointe liées aux déplacements domicile-travail et à l'activité commerciale ; et l'après-midi, de 15h à 18h, période du retour et de l'intensification de l'activité industrielle. Ce choix permet de capturer les pics de pollution les plus représentatifs de l'exposition quotidienne des populations, tout en tenant compte des conditions favorables à la formation de polluants secondaires comme l'ozone troposphérique.

Les paramètres mesurés sur chaque point sont les suivants :

- PM_{2.5} : particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres (µg/m³)
- PM₁₀ : particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (µg/m³)
- TVOC : composés organiques volatils totaux (µg/m³)
- HCHO : formaldéhyde (µg/m³)
- Température ambiante (°C)
- Humidité relative (%)

Les données secondaires

En complément des mesures de terrain, des données ont été collectées auprès d'institutions publiques camerounaises : le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable (MINEPDED), en particulier sa Brigade Nationale de Contrôle Environnemental, pour les données de surveillance atmosphérique disponibles ; l'Observatoire National des Changements Climatiques, pour le suivi des paramètres climatiques locaux ; et le Centre d'Information et de Documentation sur l'Environnement, pour la consultation de rapports techniques et d'études d'impact environnemental.

II.2.2. Objectif 2 : Identification des sources d'émission d'origine anthropique

Cet objectif consiste à identifier et à quantifier les principales sources d'émission de polluants atmosphériques sur le périmètre d'étude, afin de comprendre l'origine des niveaux de pollution observés lors du diagnostic.

Les données primaires

Les données primaires ont été collectées lors de visites de terrain sur les trois secteurs identifiés comme sources potentielles majeures : le secteur aéroportuaire (Aéroport International de Douala), le secteur industriel (cimenterie Dangote de Bonabéri) et le secteur du transport routier. Ces visites ont permis d'observer les conditions

d'exploitation, de recenser les équipements en fonctionnement et de recueillir des informations opérationnelles auprès des gestionnaires de site.

Les données secondaires

L'estimation quantitative des émissions repose sur des données d'activité issues de sources officielles : les statistiques de trafic aéroportuaire publiées par le Ministère des Transports (Annuaire Statistique des Transports 2025, TRANSTAT 2025) ; le rapport annuel 2023 du Groupe Dangote Cement (Sika Finance, 2024) pour les volumes de production de ciment de l'usine de Bonabéri ; et les données du parc automobile issues du MINTRANSPORT et de l'Institut National de la Statistique (INS Cameroun).

Ces données d'activité ont été combinées aux facteurs d'émission issus du Guide EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023, selon l'approche Tier 1.

II.3. La méthode EMEP/EEA Tier 1

L'estimation des émissions de polluants atmosphériques générées par les trois secteurs identifiés repose sur la méthodologie de référence internationale développée par le Programme de coopération pour la surveillance continue et l'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP) et l'Agence européenne pour l'environnement (AEE). Le Guide EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023 constitue le cadre méthodologique exclusif de cette étude.

Parmi les trois niveaux méthodologiques proposés par ce guide, Tier 1 (simplifié), Tier 2 (intermédiaire) et Tier 3 (détaillé), l'approche Tier 1, dite approche par facteurs d'émission par défaut, a été retenue. Ce choix est justifié par l'indisponibilité de données d'activité désagrégées au niveau de la source. L'approche Tier 1 présente une incertitude inhérente de l'ordre de ± 30 à 50 % selon les polluants, ce qui est acceptable dans le cadre d'une étude diagnostique visant à hiérarchiser les sources d'émissions.

II.3.1. Formule fondamentale commune aux trois secteurs

Le principe fondamental de la méthode EMEP/EEA est exprimé par la relation suivante, commune à l'ensemble des secteurs étudiés :

$$E(p) = FE(p) \times A$$

avec la conversion en tonnes par an :

$$E(p) [t/an] = FE(p) [kg/unité] \times A [unité/an] \div 1\,000$$

où $E(p)$ désigne l'émission annuelle du polluant p , exprimée en tonnes par an ; $FE(p)$ le facteur d'émission du polluant p , c'est-à-dire la masse de polluant rejetée par unité d'activité, issu du Guide EMEP/EEA 2023 ; et A la donnée d'activité, c'est-à-dire le niveau de fonctionnement de la source sur la période et le périmètre d'étude.

Le facteur d'émission $FE(p)$ est une constante propre à chaque polluant et à chaque type de source, déterminée empiriquement par des campagnes de mesure réalisées sur de nombreuses installations similaires et compilées dans les bases de données internationales (EMEP/EEA, IPCC, US EPA AP-42). La donnée d'activité A est la variable locale qui caractérise le niveau de fonctionnement de la source.

II.3.2. Secteur aéroportuaire

Pour le secteur de l'aviation civile, l'unité d'activité retenue est le cycle LTO (Landing and Take-Off, atterrissage-décollage). La formule est :

$$E(p)_{aéro} = FE(p, B737) \times N(LTO) \div 1\,000$$

où $E(p)_{aéro}$ désigne l'émission annuelle du polluant p générée par l'activité aéroportuaire ; $FE(p, B737)$ le facteur d'émission du polluant p pour un Boeing 737, par cycle LTO (EMEP/EEA 2023, ch. 1.A.3.a) ; et $N(LTO)$ le nombre de cycles LTO réalisés annuellement (MINTRANSPORT, TRANSTAT 2025).

Un cycle LTO complet désigne l'ensemble des opérations d'un aéronef sous le seuil de 3 000 pieds (≈ 914 m) : approche, atterrissage, roulage, mise en puissance et décollage. Le nombre de cycles complets est déterminé par la valeur minimale entre atterrissages et décollages :

$$N(LTO) = \min(N(\text{atterrissages}) ; N(\text{décollages}))$$

$$N(LTO) = \min(9\,661 ; 9\,484) = 9\,484 \text{ LTO/an}$$

La différence de 177 mouvements entre atterrissages et décollages s'explique par les déroutements, les rotations incomplètes en fin d'année et les vols ferries. Retenir le nombre de décollages comme estimateur du nombre de cycles complets constitue l'approche la plus conservatrice, conformément aux recommandations de l'EMEP/EEA en l'absence de données opérationnelles détaillées.

II.3.3. Secteur industriel

Le secteur industriel mobilise deux formules distinctes selon la nature des émissions générées : les émissions de procédé, issues de la réaction chimique de calcination, et les émissions de combustion et fugitives, liées aux opérations du site.

Émissions de procédé (CO_2 de calcination)

La fabrication du clinker repose sur la calcination du calcaire ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$). Cette réaction libère du CO_2 indépendamment du combustible utilisé. Le calcul requiert une étape préalable de conversion de la production de ciment en production équivalente de clinker :

$$P(\text{clinker}) = P(\text{ciment}) \times \tau(\text{clinker})$$

$$E(CO_2, \text{procédé}) = FE(CO_2, \text{clinker}) \times P(\text{clinker}) \div 1\,000$$

où $P(\text{ciment})$ est la production annuelle de ciment, soit 1 323 000 t/an (Dangote Cement Group, Rapport annuel 2023) ; $\tau(\text{clinker})$ le taux de clinker dans le ciment produit, soit 0,72, valeur par défaut IPCC 2006 pour le ciment Portland composite CEM II ; $P(\text{clinker})$ la production équivalente en clinker ; et $FE(\text{CO}_2, \text{clinker})$ le facteur d'émission CO_2 de calcination, soit 525 kg CO_2 par tonne de clinker (IPCC 2006, Vol. 3, Ch. 2 ; EMEP/EEA 2023, ch. 2.A.1).

La conversion par le taux de clinker τ est nécessaire car le ciment Portland composite (CEM II) produit à Bonabéri contient, en plus du clinker, des additions minérales inertes (pouzzolane volcanique, gypse) qui ne génèrent pas de CO_2 lors de leur intégration. Le CO_2 de procédé est donc proportionnel à la seule fraction clinker du ciment.

Émissions de combustion et émissions fugitives

Les émissions de combustion (NO_x , SO_x , CO , CO_2 énergie) et les émissions fugitives de poussières (PM_{10}) sont rapportées à la tonne de ciment produite, selon la formule commune :

$$E(p, \text{ind}) = FE(p, \text{ciment}) \times P(\text{ciment}) \div 1\,000$$

où $E(p, \text{ind})$ désigne l'émission annuelle du polluant p liée aux opérations du site industriel ; $FE(p, \text{ciment})$ le facteur d'émission du polluant p par tonne de ciment produite ; et $P(\text{ciment})$ la production annuelle de ciment.

Les émissions de combustion résultent de la combustion des combustibles alimentant les broyeurs et les groupes électrogènes du site. Les émissions fugitives de poussières (PM_{10}) sont des émissions diffuses non captées par une cheminée, générées lors du broyage du clinker, du transfert par convoyeurs et du chargement des camions, directement ressenties par les riverains de Bonabéri.

II.3.4. Secteur du transport routier

Le transport routier mobilise une formule en trois étapes, introduisant une variable intermédiaire, le véhicule-kilomètre parcouru (VKT), qui constitue l'unité d'activité effective de ce secteur.

Étape 1 : calcul de la donnée d'activité

Les émissions d'un véhicule étant proportionnelles à la distance parcourue, l'unité d'activité est le véhicule-kilomètre total parcouru par catégorie :

$$A(c) = N(c) \times D(c)$$

où $A(c)$ est la donnée d'activité de la catégorie c en véhicules-kilomètres par an ; $N(c)$ le nombre de véhicules en circulation de la catégorie c sur la zone d'étude (MINTRANSPORT, TRANSTAT 2025 / INS Cameroun) ; et $D(c)$ la distance annuelle moyenne parcourue par un véhicule de la catégorie c , selon les valeurs de référence EMEP/EEA adaptées au contexte urbain africain (vitesse moyenne de 25 km/h).

Étape 2 : émissions par catégorie de véhicule

Les facteurs d'émission du transport routier sont exprimés en grammes par kilomètre dans le guide EMEP/EEA. La formule d'émission par catégorie est :

$$E(p, c)_{\text{route}} = FE(p, c) \times N(c) \times D(c) \div 1\,000\,000$$

La division par 1 000 000 convertit les grammes en tonnes (grammes vers kilogrammes : $\div 1\,000$, puis kilogrammes vers tonnes : $\div 1\,000$), où $FE(p, c)$ est le facteur d'émission du polluant p pour la catégorie c , exprimé en grammes par kilomètre (EMEP/EEA 2023, ch. 1.A.3.b, catégories pré-Euro / Euro 1).

Les catégories technologiques pré-Euro et Euro 1 ont été retenues car elles correspondent à l'état réel du parc automobile camerounais, dont 92 % des véhicules sont des occasions importées dépourvues de systèmes de dépollution catalytique modernes (INS Cameroun). Ces catégories présentent les facteurs d'émission les plus élevés du tableau Tier 1, ce qui reflète fidèlement le contexte local.

Étape 3 : agrégation sur l'ensemble du parc

Les émissions totales du secteur transport sont obtenues par sommation sur l'ensemble des C catégories de véhicules :

$$E(p)_{\text{route}} = \sum_{(c=1 \text{ à } C)} [FE(p, c) \times N(c) \times D(c) \div 1\,000\,000]$$

Les six catégories prises en compte sont : voitures particulières essence, voitures particulières diesel, moto-taxis, minibus, poids lourds et véhicules utilitaires légers.

II.3.5. Synthèse méthodologique

Le tableau ci-dessous récapitule les formules et paramètres appliqués pour chacun des trois secteurs étudiés.

Tableau IX : Récapitulatif des formules et paramètres par secteur d'activité

Secteur	Formule appliquée	FE : unité	A : unité	Source FE
Aéroportuaire	$E(p) = FE(p, B737) \times N(\text{LTO}) \div 1\,000$	kg / LTO	LTO / an	EMEP/EEA 2023, ch. 1.A.3.a
Industriel Procédé CO_2	$E(\text{CO}_2) = FE(\text{CO}_2, \text{cl.}) \times P(\text{cim.}) \times \tau(\text{cl.}) \div 1\,000$	kg / t clinker	t ciment / an	IPCC 2006 / EMEP/EEA ch. 2.A.1

Secteur	Formule appliquée	FE : unité	A : unité	Source FE
Industriel Combustion & fugitif	$E(p) = FE(p, \text{cim.}) \times P(\text{ciment}) \div 1\,000$	kg / t ciment	t ciment / an	EMEP/EEA 2023, ch. 1.A.2.f + 2.A.1
Transport routier	$E(p) = \Sigma(c) [FE(p, c) \times N(c) \times D(c) \div 1\,000\,000]$	g / km	veh × km / an	EMEP/EEA 2023, ch. 1.A.3.b, Tier 1

III. résultats et discussions

III.1. résultats

III.1.1. Concentrations en particules fines PM2,5 et PM10

L'analyse des données collectées in-situ permet de comparer les concentrations de particules fines sur les différents sites d'étude. Elle met en évidence l'influence des activités humaines et des conditions environnementales locales sur la qualité de l'air, tout en permettant d'identifier les zones les plus exposées.

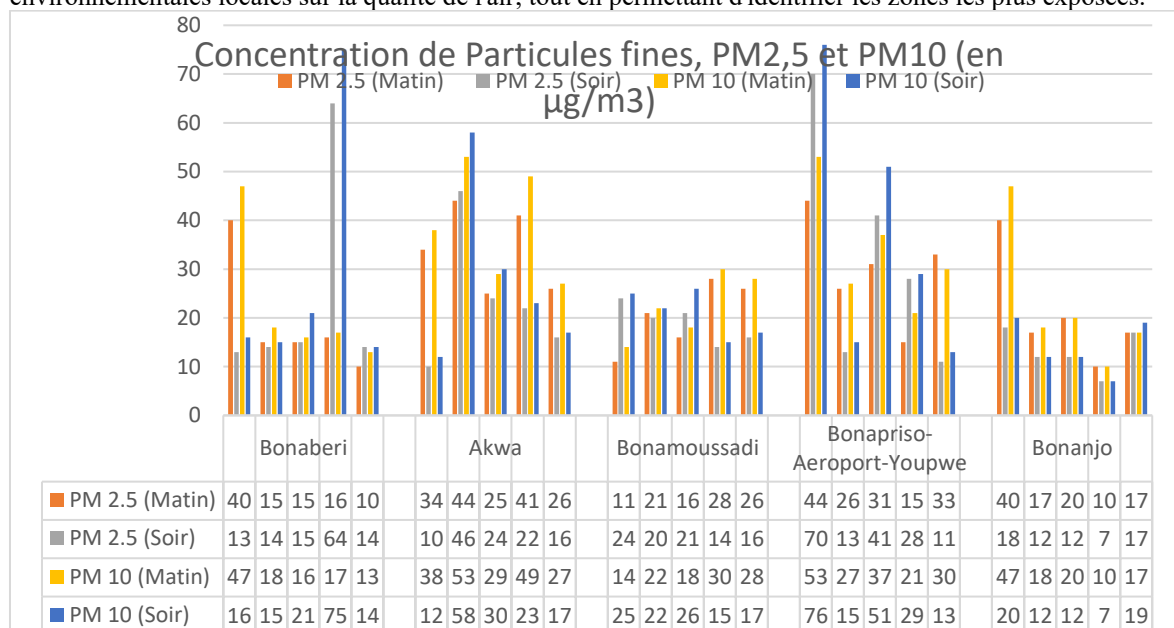


Figure 13 : Concentration de particules fines, PM2,5 et PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

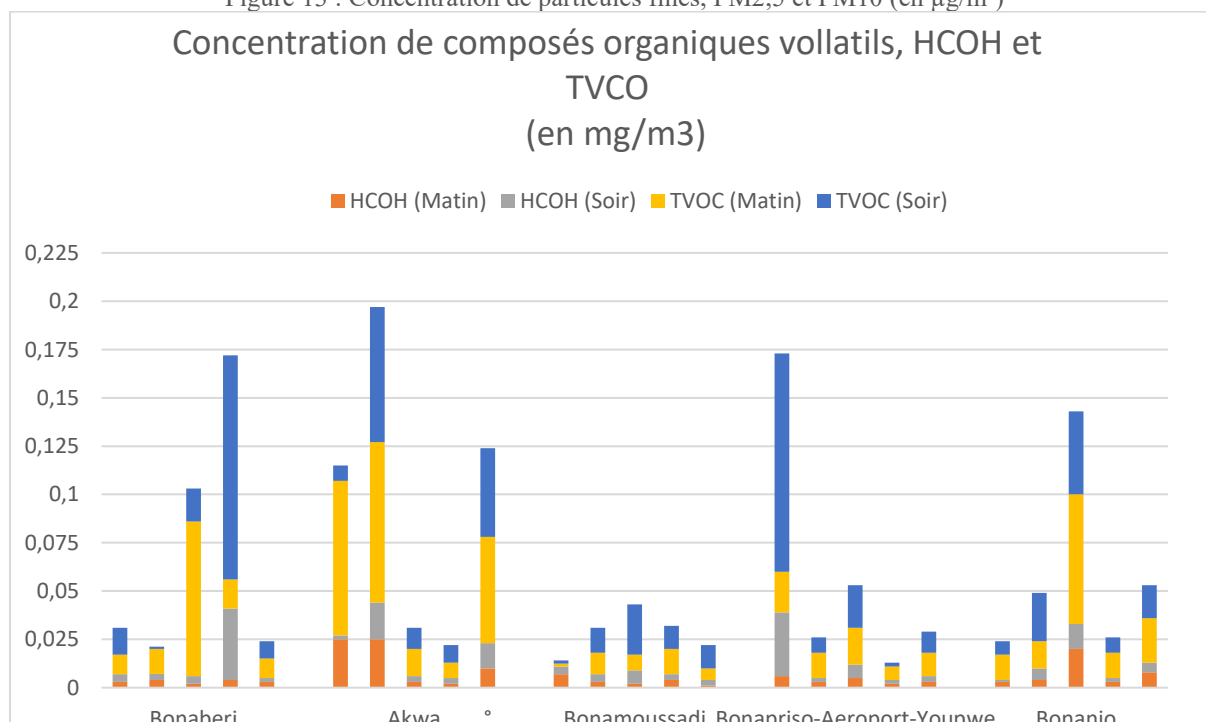
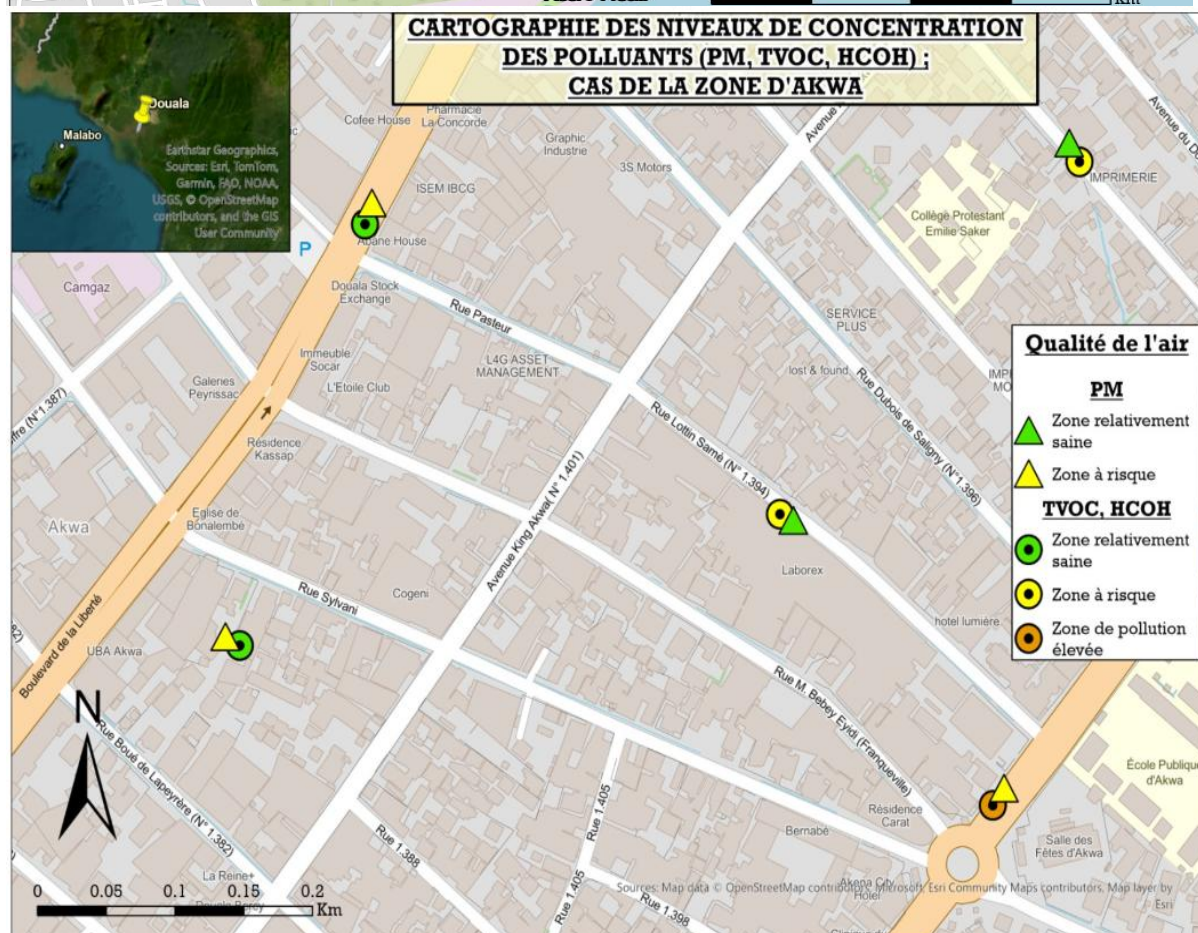
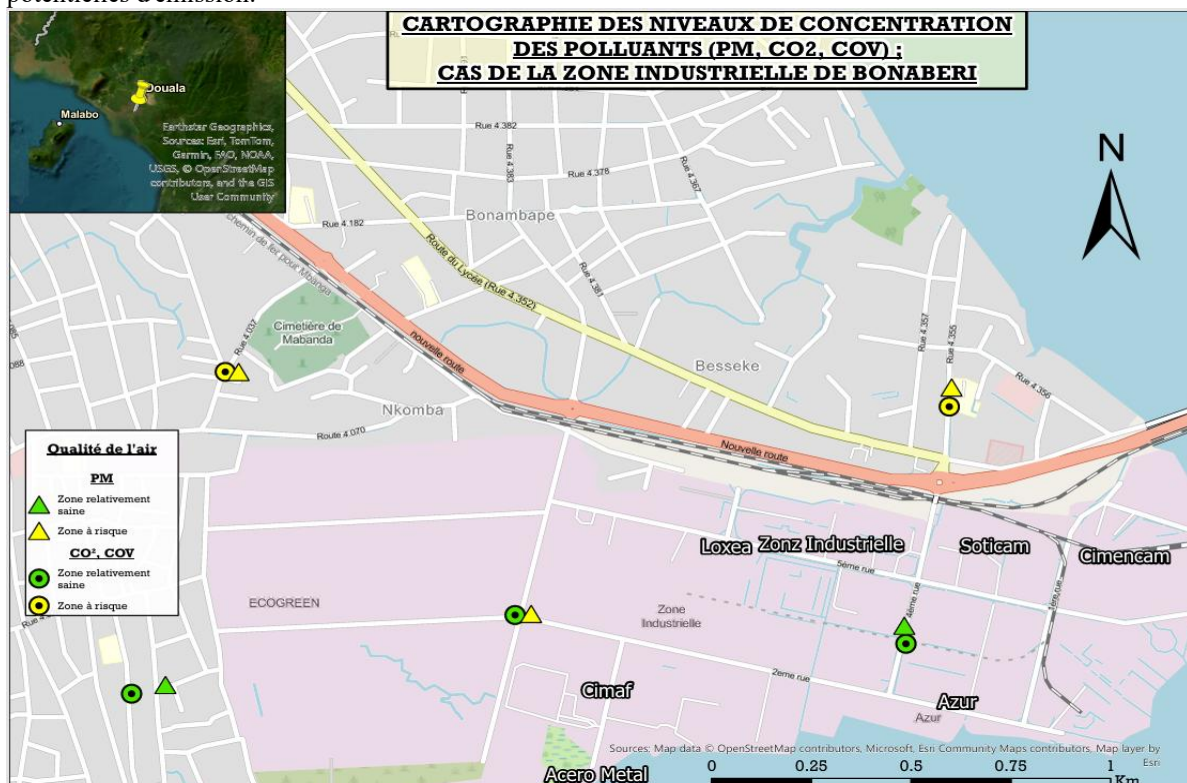


Figure 14 : Concentration de composés organiques volatils, HCOH et TVCO

III.1.2. Répartition spatiale des résultats

Les cartes ci-dessous présentent la répartition géographique des concentrations mesurées. Elles permettent d'identifier les zones les plus polluées, de mettre en évidence les variations spatiales et de localiser les sources potentielles d'émission.



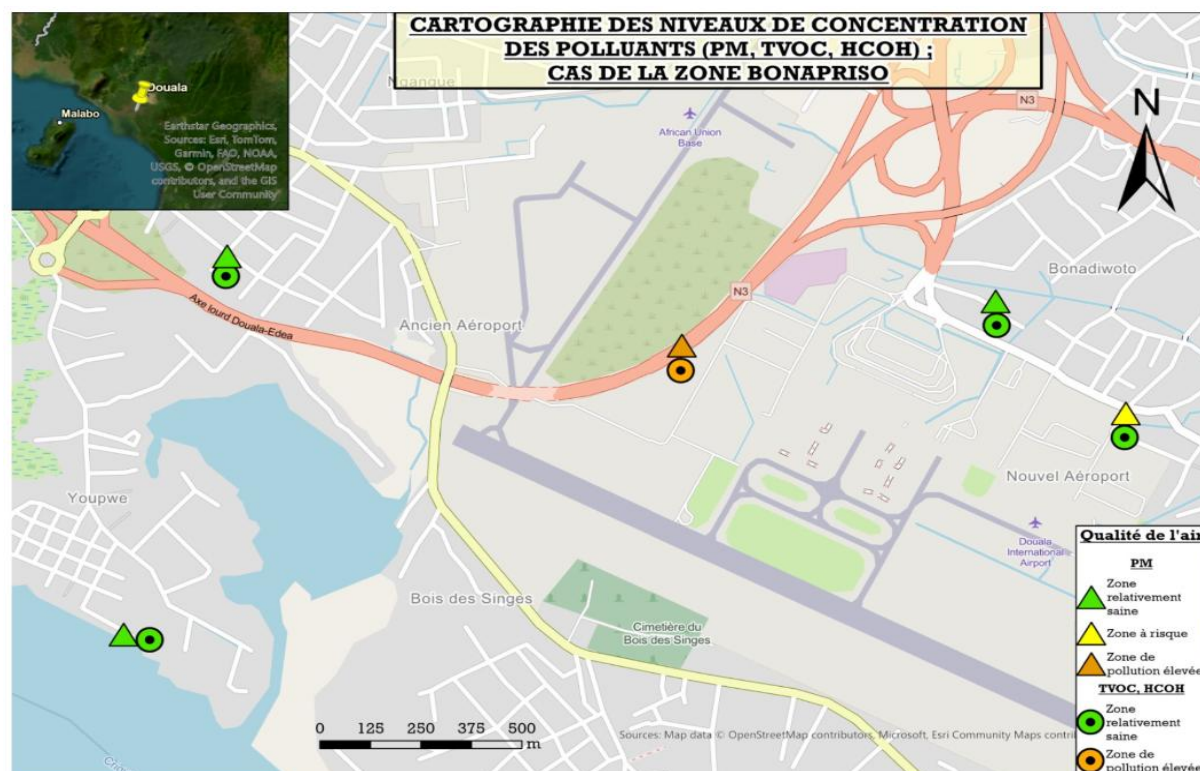
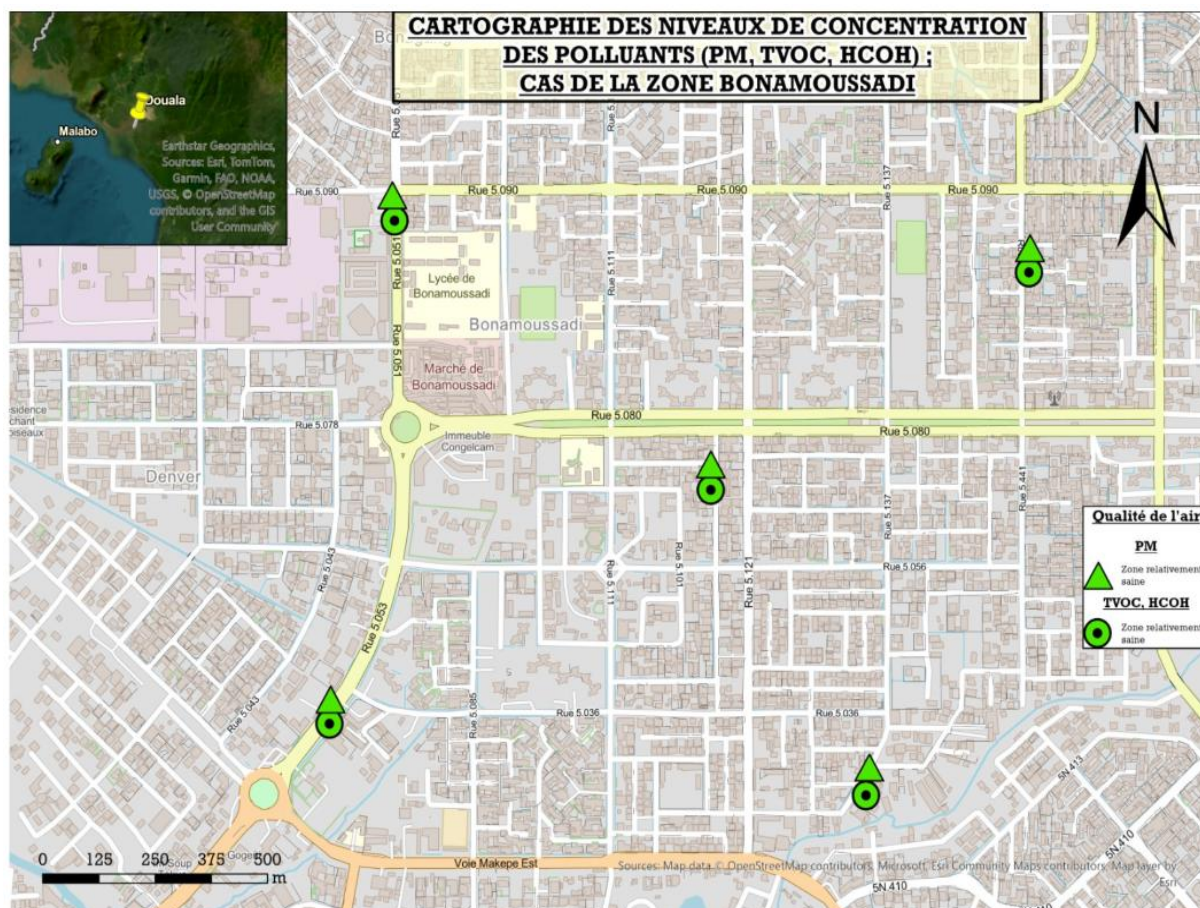




Figure 16 : Répartition spatiale des points de collecte des données

I.3. Identification des sources d'émission

Le croisement des résultats du diagnostic avec la cartographie révèle une géographie non uniforme de la pollution. Trois secteurs ont été inventoriés selon la méthode EMEP/EEA 2023 Tier 1.

I.3.1. Secteur aéroportuaire — Aéroport International de Douala

Polluant	FE (kg/LTO)	LTO/an	Émissions (t/an)
CO ₂	2 598	9 484	24 639
NO _x	10,3	9 484	97,7
CO	8,0	9 484	75,9
PM ₁₀	0,03	9 484	0,28

Tableau XIV : Bilan des émissions annuelles — secteur aéroportuaire

I.3.2. Secteur industriel — Cimenterie Dangote, Bonabéri

Donnée d'activité : 950 000 t/an de ciment (capacité initiale 2015), taux de clinker 72 %, soit 684 000 t de clinker/an. Facteurs d'émission EMEP/EEA 2023, Chapitre 2.A.1.

Polluant	Source	FE	Activité	Émissions (t/an)
CO ₂	Calcination clinker	525 kg/t clinker	684 kt	500 094
CO ₂	Combustion broyage	50 kg/t ciment	950 kt	66 150
PM ₁₀	Broyage/manutention	0,15 kg/t ciment	950 kt	198,5
NO _x	Combustion énergie	0,35 kg/t ciment	950 kt	463,1
CO	Combustion énergie	0,05 kg/t ciment	950 kt	66,2

I.3.3. Secteur transport routier — Parc automobile de Douala

Catégorie	Nb véhicules	NO _x (t)	PM ₁₀ (t)	CO (t)	COVNM (t)
VP essence pré-Euro	190 080	1 276	91	21 897	2 737
VP diesel pré-Euro	73 920	1 064	177	1 242	222
Moto-taxis essence	96 000	173	52	11 750	6 048
Minibus diesel	38 400	4 032	518	2 074	346
Poids lourds diesel	33 600	7 392	806	2 822	336
VUL diesel	48 000	1 728	240	1 536	192

TOTAL	480 000	15 665	1 884	41 321	9 881
-------	---------	--------	-------	--------	-------

I.3.4. Synthèse comparative des trois secteurs

Source	CO ₂ (t/an)	NO _x (t/an)	PM ₁₀ (t/an)	CO (t/an)	COVNM (t/an)
A. Aéroport (9 484 LTO)	24 639	97,7	0,28	75,9	4,7
B. Cimenterie Dangote	566 244	463,1	198,5	66,2	—
C. Transport routier	—	15 665	1 884	41 321	9 881
TOTAL estimé	590 883	16 226	2 083	41 463	9 886

Tableau XIX : Synthèse comparative des trois secteurs émetteurs

II.2. Discussions

II.2.1 Qualité de l'air

Les mesures réalisées sur les vingt-cinq points de prélèvement révèlent des concentrations élevées en particules fines et en CO₂ dans plusieurs quartiers. Bonabéri, Akwa et la zone aéroportuaire enregistrent les niveaux les plus élevés, du fait de la densité industrielle, de l'intensité du trafic et des cycles d'exploitation aéroportuaire. Les quartiers résidentiels comme Bonapriso ou Bonamoussadi, mieux végétalisés, présentent des concentrations globalement plus faibles.

Cette inégalité spatiale n'est pas anodine : les populations vivant à proximité des sources subissent une exposition disproportionnée, sans en être responsables. Il s'agit d'une forme réelle d'injustice environnementale, d'autant plus préoccupante que les concentrations mesurées dépassent régulièrement les seuils de la norme camerounaise NC 2856 et des lignes directrices de l'OMS 2021 pour les PM_{2,5} et les PM₁₀, sur les deux plages horaires de mesure.

Conclusion partielle : La pollution atmosphérique à Douala est un problème réel, mesurable et spatialement inégal, qui expose de manière disproportionnée les populations des zones industrielles et commerciales. Ce constat constitue le point de départ indispensable à toute action de gestion de la qualité de l'air dans la ville.

II.4. les sources de pollutions

L'inventaire EMEP/EEA Tier 1 établit une hiérarchie claire entre les trois sources étudiées.

Le transport routier domine massivement pour tous les polluants affectant directement la santé. Cette domination s'explique par la vétusté du parc automobile, composé à 92 % de véhicules d'occasion importés sans dépollution catalytique, et par la prolifération des motos-taxis — environ 96 000 engins circulant à basse vitesse dans les embouteillages, créant des micro-zones de pollution concentrée au niveau de la rue. Les émissions de PM₁₀ à l'échappement constituent par ailleurs une estimation conservatrice, les émissions non-exhaust (usure des pneus, freins, remise en suspension des poussières) pouvant représenter 30 à 50 % des émissions totales supplémentaires selon le guide EMEP/EEA 2023.

La cimenterie Dangote n'est pas la première source de polluants respiratoires à l'échelle de la ville, mais elle est la plus grande source locale de CO₂ et contribue significativement aux concentrations de PM₁₀ dans le quartier de Bonabéri, avec près de 200 tonnes de poussières fugitives non captées par an, directement ressenties par les riverains.

L'aéroport, source secondaire en volume, génère un impact géographiquement concentré dans le couloir d'approche, qui ne doit pas être sous-estimé pour les populations riveraines.

Conclusion partielle : Le transport routier constitue la priorité d'action absolue à l'échelle de la ville. La cimenterie appelle un suivi renforcé et des mesures ciblées sur Bonabéri. L'aéroport justifie des protections spécifiques pour les riverains du couloir aérien. Ces trois priorités constituent la base du plan de gestion proposé dans la partie suivante.

Partie III — Pistes d'amélioration

II.3. Réduction des émissions à la source

II.3.1. Pollution industrielle — Bonabéri

I1 — Application effective des normes de rejets atmosphériques

Description : Rendre opposable et appliquer les normes de rejets atmosphériques homologuées (ANOR, MINEPDED).

Objectif visé : Réduction de 30 % des émissions de PM_{2,5} et PM₁₀ industrielles

Parties prenantes : MINEPDED, ANOR, CUD, établissements industriels de Bonabéri.

Horizon : Court terme (mise en application), poursuite long terme.

Indicateur : Nombre d'inspections réalisées par an ;

I2 — Installation de systèmes de dépollution industrielle

Description : Imposer aux industries l'installation de filtres à particules et de systèmes de désulfuration.

Objectif visé : Réduction de 40 % des émissions de PM10 des installations équipées.

Parties prenantes : MINEPDED, entreprises industrielles de Bonabéri,

Horizon : Moyen à long terme.

Indicateur : Nombre d'installations équipées ;

II.3.2. Transport routier

V2 — Renforcement des normes sur les carburants

Description : Abaisser progressivement la teneur en soufre des carburants et imposer une norme sur les huiles moteur.

Objectif visé : Réduction de 15 % des émissions de particules fines liées au trafic.

Parties prenantes : MINEE, MINEPDED, MINTransports, compagnies pétrolières.

Horizon : Court à moyen terme.

Indicateur : Teneur en soufre mesurée dans les carburants distribués.

V3 — Renforcement du contrôle technique et mesure des émissions

Description : Rendre opérationnel le contrôle des émissions lors de la visite technique obligatoire.

Objectif visé : Identification et retrait progressif des véhicules les plus émissifs.

Parties prenantes : MINEPDED, MINTransports, préfecture du Wouri.

Horizon : Court terme, à pérenniser.

Indicateur : Taux de véhicules conformes ; nombre de centres équipés.

V4 — Réglementation de l'importation des véhicules polluants

Description : Instaurer un critère d'âge limite à l'importation et une mesure des émissions à l'entrée du territoire.

Objectif visé : Réduction progressive de l'âge moyen du parc automobile en circulation.

Parties prenantes : MINEPDED, MINTransports, douanes camerounaises.

Horizon : Court à long terme.

Indicateur : Nombre de véhicules refusés à l'importation ; âge moyen du parc.

II.3.3. Amélioration de la gestion des flux de pollution

ZFE1 — Zones à faibles émissions

Description : Instaurer des restrictions de circulation pour les véhicules les plus polluants dans les quartiers les plus exposés (Bonabéri prioritaire, puis Akwa et Bonanjo).

Objectif visé : Réduction de 20 % des concentrations PM2,5 et PM10 dans les zones couvertes.

Parties prenantes : CUD, police municipale, MINH DU.

Horizon : Réformes court terme, mise en œuvre progressive moyen terme.

Indicateur : Évolution des concentrations PM dans le périmètre.

VG1 — Végétalisation urbaine et barrières naturelles

Description : Planter des alignements d'arbres à feuillage persistant en bordure de la zone industrielle de Bonabéri et le long des axes les plus fréquentés d'Akwa.

Objectif visé : Réduction de 15 % des concentrations locales de PM10 et PM2,5 ; amélioration du confort thermique.

Parties prenantes : CUD, urbanistes, experts en environnement, associations écologiques.

Horizon : Court terme (initiation), moyen-long terme (extension).

Indicateur : Nombre d'arbres plantés par an ; suivi par capteurs de qualité de l'air.

II.3.4. Renforcement institutionnel et surveillance

A1 — Création d'une cellule de gestion de la qualité de l'air

Description : Créer au sein de la CUD une cellule technique dédiée à la gestion du réseau de surveillance, au traitement des données et au lien avec le MINEPDED.

Objectif visé : Disposer d'une structure pérenne de pilotage de la qualité de l'air à l'échelle communale.

Parties prenantes : CUD, MINEPDED.

Horizon : Court terme.

Indicateur : Effectivité de la création ; nombre d'agents affectés.

A3 — Campagne de sensibilisation du grand public

Description : Informer les populations sur les effets de la pollution sur la santé et le climat local, avec un effort renforcé à Bonabéri, via médias, réseaux sociaux et chefferies traditionnelles.

Objectif visé : Renforcer la prise de conscience collective et les comportements éco-responsables.

Parties prenantes : CUD, MINEPDED, MINSanté.

Horizon : Court terme, à prolonger sur le long terme.

Indicateur : Nombre de campagnes menées ; taux de connaissance mesuré par enquête.

A6 — Plan d'action pour les pics de pollution

Description : Préparer un dispositif de réponse rapide aux épisodes de pollution aiguë (harmattan, poussières sahariennes), incluant l'alerte des populations vulnérables.

Objectif visé : Réduire l'exposition aiguë lors des épisodes identifiables.

Parties prenantes : MINEPDED, MINSanté, CUD.

Horizon : Court terme, à prolonger.

Indicateur : Existence du plan ; délai moyen d'activation lors d'un épisode.

Limites de l'étude

Les mesures ont été réalisées sur deux plages horaires quotidiennes (8h–11h et 15h–18h), correspondant aux pics de trafic. Les concentrations nocturnes et les émissions industrielles continues en dehors de ces plages n'ont pas été captées, ce qui conduit à une sous-estimation potentielle de l'exposition quotidienne totale. La méthode EMEP/EEA Tier 1 présente une incertitude inhérente de ± 30 à 50 % selon les polluants. Elle repose sur des facteurs d'émission par défaut établis principalement en contexte européen, dont la transposabilité au contexte camerounais.

Conclusion

Cet article s'était donné pour ambition d'établir un diagnostic de la qualité de l'air à Douala, d'identifier les principales sources de pollution atmosphérique d'origine anthropique et de formuler des pistes d'amélioration adaptées. Les résultats obtenus permettent de tirer trois conclusions principales.

Le diagnostic de terrain confirme que la qualité de l'air à Douala dépasse régulièrement les seuils recommandés par l'OMS 2021, en particulier dans les zones de Bonabéri, d'Akwa et à proximité de l'aéroport international. Cette dégradation n'est pas uniforme : elle suit une géographie précise liée à la concentration des activités humaines, créant une inégalité d'exposition entre les quartiers industriels et commerciaux, fortement pollués, et les quartiers résidentiels plus végétalisés. Ce constat soulève une question d'équité environnementale : ce sont souvent les populations économiquement les plus vulnérables, vivant à proximité des sources d'émission, qui subissent les niveaux d'exposition les plus élevés sans en être responsables.

L'inventaire des émissions conduit selon la méthode EMEP/EEA Tier 1 établit sans ambiguïté la hiérarchie des sources. Le transport routier domine

massivement pour les polluants affectant directement la santé respiratoire des populations, conséquence structurelle d'un parc automobile vétuste composé à plus de 90 % de véhicules d'occasion importés sans dépollution catalytique. La cimenterie Dangote de Bonabéri constitue la première source locale de CO₂ et contribue de manière intense et localisée aux concentrations de particules fines dans le quartier riverain. L'aéroport, bien que source secondaire en volume à l'échelle de la ville, génère un impact concentré dans le couloir aérien qui ne peut être négligé. Cette hiérarchisation est directement opérationnelle : elle désigne le transport routier comme levier d'action prioritaire pour améliorer la qualité de l'air à l'échelle de l'ensemble de l'agglomération.

Les mesures proposées constituent des réponses directement issues des constats quantifiés de l'étude. Leur efficacité reste cependant conditionnée à la mise en place d'un dispositif permanent et institutionnalisé de surveillance de la qualité de l'air à Douala, aujourd'hui inexistant. Sans suivi continu, le diagnostic réalisé dans cet article restera une photographie isolée, incapable d'alimenter une politique publique durable. La création d'une cellule dédiée au sein de la Communauté Urbaine de Douala, appuyée par le MINEPDED, constitue à ce titre la mesure institutionnelle la plus urgente et la plus structurante de l'ensemble du plan proposé.

Références

- Agence Internationale de l'Énergie (AIE).** (2023). *CO₂ Emissions in 2022*. Paris : International Energy Agency.
- Agence Internationale de l'Énergie (AIE).** (2024). *Global Energy Review 2024*. Paris : International Energy Agency.
- Accord de Paris.** (2015). *Accord de Paris adopté dans le cadre de la Convention-cadre des Nations*

Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Paris, France.

Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP). (1979). *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Genève : Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU).

Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. Rome : FAO.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). *FAOSTAT Emissions Database*. Rome : FAO.

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2000). *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications*. Academic Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva : IPCC.

Jacob, D. J. (1999). *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Princeton University Press.

Jacobson, M. Z. (2012). *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Organisation météorologique mondiale (OMM). (2025). *State of the Global Climate 2024*. Genève : Organisation météorologique mondiale.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2018). *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air*. Genève : OMS.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. Genève : OMS.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2022). *Ambient (Outdoor) Air Pollution*. Genève : OMS.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2024). *Air Pollution*. Genève : OMS.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2024). *Global Resources Outlook 2024*. Nairobi : United Nations Environment Programme.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2024). *Global Environment Outlook (GEO-7)*. Nairobi : United Nations Environment Programme.

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

United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). *Emissions Gap Report 2024*. Nairobi : UNEP.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris Agreement*. Bonn : UNFCCC.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Criteria Air Pollutants*. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency.

Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey* (2nd ed.). Academic Press.