



RÉPUBLIQUE TOGOLAISE



GREEN  
CLIMATE  
FUND



# Guide d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

## MANUEL PRATIQUE AirQ+

À destination des professionnels des  
politiques de transport du Togo.  
Version 1.0 – 2024.

Ministère des Transports  
Ministère de la Santé.







GREEN  
CLIMATE  
FUND



RÉPUBLIQUE TOGOLAISE



RÉPUBLIQUE TOGOLAISE



RÉPUBLIQUE TOGOLAISE

# Guide d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

**MANUEL PRATIQUE AirQ+**

À destination des professionnels des  
politiques de transport du Togo.  
Version 1.0 – 2024.

Ministère des Transports  
Ministère de la Santé.

## Guide de de atm

**MAN**

À destination  
politiques  
Version 1.0

Ministère  
Ministère

## Guide de l' de la atm

**MAN**

À destination  
politiques de  
Version 1.0

Ministère de  
Ministère de



# Sommaire

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET CONTEXTE TOGOLAIS.....	7
I. La qualité de l'air au Togo : état des lieux.....	8
II. Impact du transport sur la pollution atmosphérique .....	11
III. Pourquoi évaluer l'impact sanitaire ? .....	14
IV. Objectifs de ce manuel.....	15
V. À qui s'adresse ce guide ? .....	16
VI. Mode d'emploi du manuel .....	17
CHAPITRE 2 : COMPRENDRE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE .....	18
I. Les polluants atmosphériques principaux.....	19
II. Sources de pollution au Togo .....	22
III. Effets sur la santé .....	25
IV. Normes et recommandations .....	28
V. Exercices pratiques.....	30
CHAPITRE 3 : CONCEPTS STATISTIQUES ESSENTIELS.....	32
I. Le risque relatif expliqué simplement.....	33
II. L'intervalle de confiance.....	35
III. La proportion attribuable .....	37
IV. Exemples concrets.....	39
V. Quiz de compréhension .....	41
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION D'AirQ+ .....	43
I. Qu'est-ce qu'AirQ+ ? .....	44
II. Les trois modules principaux.....	45
III. Avantages compétitifs et considérations opérationnelles .....	47
IV. Cas d'usage stratégiques pour le Programme Mobilité Verte .....	48
CHAPITRE 5 : INSTALLATION ET CONFIGURATION .....	51
I. Configuration requise .....	52
II. Installation pas à pas avec captures d'écran .....	54
III. Premier démarrage .....	58
IV. Résolution des problèmes courants.....	63

V. Test de bon fonctionnement.....	65
CHAPITRE 6 : COLLECTE DES DONNÉES AU TOGO .....	67
I. Sources de données disponibles .....	68
II. Données de pollution atmosphérique.....	70
III. 6.3 Données démographiques .....	72
IV. Données sanitaires .....	74
V. Fiche de collecte type .....	77
CHAPITRE 7 : PREMIÈRE ANALYSE - CAS PRATIQUE LOMÉ .....	81
I. Contexte : amélioration du transport public à Lomé.....	82
II. Préparation des données .....	84
III. Création de l'analyse pas à pas .....	87
IV. Interprétation des résultats.....	91
V. Rédaction du rapport.....	92
CHAPITRE 8 : ANALYSES AVANCÉES .....	96
I. Comparaison de scénarios .....	97
II. Analyses multi-polluants .....	101
III. Projections futures .....	103
IV. Intégration des coûts sanitaires .....	106
CHAPITRE 9 : INTÉGRATION DANS LES POLITIQUES (VERSION RÉVISÉE).....	110
I. Lien avec le Programme Mobilité Verte .....	111
II. Évaluation des projets de transport.....	114
III. Suivi et évaluation .....	117
IV. Recommandations pour les décideurs.....	119





## Liste des sigles & acronymes

<b>AFD</b>	: Agence Française de Développement.
<b>AVC</b>	: Accident Vasculaire Cérébral
<b>BPCO</b>	: Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive.
<b>BRT</b>	: Bus Rapid Transit
<b>CAMS</b>	: Copernicus Atmosphere Monitoring Service
<b>CEDEAO</b>	: Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest.
<b>CO</b>	: Monoxyde de carbone
<b>COV</b>	: Composés organiques volatils
<b>DALY</b>	: Disability-Adjusted Life Year
<b>DHIS2</b>	: District Health Information Software 2
<b>EASI</b>	: Enable-Avoid-Shift-Improve
<b>EDS</b>	: Enquête Démographique et de Santé
<b>GB</b>	: Gigabyte
<b>GHz</b>	: Gigahertz.
<b>GIZ</b>	: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
<b>GPO</b>	: Group Policy Object
<b>HTA</b>	: Hypertension Artérielle.
<b>IC</b>	: Intervalle de confiance
<b>ICQA</b>	: Indice composite de qualité de l'air
<b>IER</b>	: Indice d'Exposition Relative
<b>INSEED</b>	: Institut National de la Statistique, des Études Économiques et Démographiques
<b>IRA</b>	: Infections Respiratoires Aiguës
<b>MB</b>	: Megabyte
<b>MICS</b>	: Multiple Indicator Cluster Survey
<b>MODIS</b>	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>NO2</b>	: Dioxyde d'azote
<b>PM</b>	: Particules fines

<b>O<sub>3</sub></b>	: Ozone troposphérique
<b>OMS</b>	: Organisation mondiale pour la Santé
<b>PA</b>	: Proportion attribuable
<b>PC</b>	: Personal Computer
<b>PIP</b>	: Projet d'investissement prioritaire
<b>PM</b>	: Particules en suspension
<b>PMV</b>	: Programme Mobilité Verte
<b>ppb</b>	: Parties par milliard
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Dioxyde de soufre
<b>RAM</b>	: Random Access Memory
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
<b>RR</b>	: Risque relatif
<b>SOTRAL</b>	: Société des Transports de Lomé
<b>SRTM</b>	: Shuttle Radar Topography Mission
<b>µg/m<sup>3</sup></b>	: Microgrammes par mètre cube
<b>USB</b>	: Universal Serial Bus
<b>VE</b>	: Véhicule électrique
<b>VIIRS</b>	: Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
<b>VSL</b>	: Valeur Statistique de la Vie
<b>WACAP</b>	: West Africa Clean Air Platform





# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET CONTEXTE TOGOLAIS





## I. La qualité de l'air au Togo : état des lieux

### A. Le défi de la pollution atmosphérique en Afrique de l'Ouest

Le Togo, comme de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, fait face à des défis croissants en matière de qualité de l'air. L'urbanisation rapide et le développement économique s'accompagnent d'une augmentation des sources potentielles de pollution atmosphérique.

#### 1. Situation actuelle au Togo

Le paysage urbain togolais est marqué par un réseau de villes qui structurent à la fois la vie économique, sociale et politique du pays. Au premier rang se trouve Lomé, capitale politique et centre névralgique de l'économie nationale. Située sur la côte atlantique, elle concentre la majeure partie des activités commerciales, industrielles et portuaires, et joue un rôle décisif dans les échanges régionaux et internationaux.

Au nord, Kara occupe une place stratégique en tant que chef-lieu de la région de la Kara. La ville se distingue par sa fonction administrative et par son rôle croissant comme pôle d'échanges au cœur du corridor reliant le Togo au Burkina Faso et au Niger.

Plus au centre du pays, Sokodé constitue le principal centre urbain de la région Centrale. Ville dynamique, elle s'impose comme un carrefour économique et culturel, notamment grâce à son rôle de jonction entre les zones septentrionales et méridionales.

Dans la région des Plateaux, deux villes se distinguent particulièrement. Atakpamé, chef-lieu de la région, est réputée pour ses activités agricoles et pour sa position stratégique le long de l'axe routier reliant le sud au nord du pays. À quelques kilomètres plus au sud-ouest, Kpalimé bénéficie d'un fort potentiel touristique et économique, notamment grâce à son climat tempéré, ses paysages montagneux et sa proximité avec la frontière ghanéenne.

Ensemble, ces pôles urbains dessinent une carte contrastée où les dynamiques démographiques, économiques et environnementales se combinent pour façonner la trajectoire de développement du pays.



## 2. État des connaissances

À ce jour, le Togo ne dispose pas d'un réseau national de surveillance de la qualité de l'air. Cette absence limite considérablement la capacité du pays à suivre en continu l'évolution des concentrations de polluants atmosphériques et à mettre en place des politiques publiques basées sur des données solides.

Les informations disponibles proviennent essentiellement d'études ponctuelles, souvent menées dans le cadre de projets de recherche ou de programmes pilotes soutenus par des partenaires techniques et financiers. Bien que précieuses, ces données restent fragmentées, limitées dans le temps et géographiquement concentrées, ce qui réduit leur représentativité au niveau national.

Cette situation met en évidence la nécessité d'établir des mesures de référence fiables. La mise en place d'une base de données structurée, issue d'un système de suivi permanent, constituerait un levier essentiel pour comprendre les tendances, évaluer les risques sanitaires et définir des priorités d'action. Elle permettrait également d'alimenter des outils de modélisation comme AirQ+ et de renforcer la crédibilité des analyses destinées aux décideurs publics.

## 3. Les particularités du contexte togolais

### a. Facteurs climatiques :

Le contexte climatique du Togo exerce une influence directe sur la qualité de l'air et sur la dynamique des polluants atmosphériques. Entre novembre et mars, le pays est marqué par l'harmattan, un vent sec et poussiéreux en provenance du Sahara. Ce phénomène transporte d'importantes quantités de particules naturelles, contribuant à une élévation saisonnière des concentrations en poussières fines dans l'air ambiant.

À l'inverse, la saison des pluies, qui s'étend d'avril à octobre, favorise un phénomène de lessivage atmosphérique. Les précipitations régulières nettoient l'air en réduisant la concentration de polluants, bien que cette amélioration soit souvent temporaire et fortement dépendante de l'intensité des pluies.

Enfin, le climat côtier confère à Lomé des spécificités supplémentaires. L'influence maritime et les régimes de brises marines modifient la dispersion des polluants, créant des conditions parfois favorables à leur dilution mais pouvant également conduire, dans certaines situations, à leur stagnation au niveau du littoral.

## b. Sources potentielles de pollution :

La pollution atmosphérique au Togo résulte d'un ensemble de sources à la fois anthropiques et naturelles. Le transport routier constitue l'un des principaux contributeurs, en raison de la croissance rapide du parc automobile, du vieillissement des véhicules en circulation et de l'usage fréquent de carburants de qualité variable.

Les activités domestiques représentent également une source significative. La cuisson des aliments et, dans certaines zones, le chauffage repose encore largement sur la biomasse (bois, charbon de bois), générant des émissions de particules et de gaz nocifs dans des environnements souvent mal ventilés.

À cela s'ajoutent les activités industrielles et artisanales, dont certaines sont implantées à proximité des zones d'habitation, accentuant l'exposition des populations locales. La combustion de déchets, pratique répandue en l'absence de systèmes performants de gestion des ordures, libère des fumées et substances toxiques aux effets sanitaires avérés.

Enfin, les routes non revêtues, encore nombreuses à travers le pays, constituent une source diffuse mais importante de poussières, particulièrement en saison sèche et dans les zones à forte circulation.





## II. Impact du transport sur la pollution atmosphérique

### A. Le secteur des transports au Togo

Le transport routier constitue une source importante de pollution atmosphérique en milieu urbain, particulièrement aux heures de pointe et sur les axes principaux.

### B. Caractéristiques du parc automobile

Le parc automobile togolais est marqué par une forte présence de véhicules d'occasion importés, souvent anciens et peu performants en matière de consommation et de contrôle des émissions.

Il se compose d'une grande diversité de modes de transport : voitures particulières, taxis, camions de marchandises et surtout zémidjans, motos-taxis omniprésents dans les grandes villes. Cette diversité répond à des besoins variés de mobilité mais intensifie le trafic et les émissions polluantes.

L'âge moyen élevé des véhicules accentue le problème. Leur entretien limité, combiné à une qualité de carburant parfois insuffisante, entraîne une pollution atmosphérique importante et accroît les risques sanitaires.

Le parc automobile constitue à la fois un levier essentiel de mobilité et une source majeure de pollution, appelant des mesures ciblées de régulation et de renouvellement.

### C. Problématiques identifiées

#### 1. État du parc automobile

Le parc automobile togolais présente plusieurs défis majeurs. Le contrôle technique, bien qu'obligatoire, ne repose sur aucune norme spécifique relative aux émissions, ce qui limite son efficacité en matière de réduction de la pollution. La qualité du carburant reste également préoccupante, contribuant à l'augmentation des rejets polluants. Enfin, les difficultés liées à la maintenance et à l'entretien régulier des véhicules aggravent l'ampleur du problème.



## 2. Les deux et trois roues motorisés (y compris les zémidjans)

Les deux roues et assimilées représentent une part importante du parc automobile, les statistiques de la DTRF montrent qu'ils représentent plus des 2/3 des véhicules en circulation. Ceci pour les raisons suivantes :

- Faible part de marché (1%) des transports publics ;
- Mode de transport populaire et accessible ;
- Le transport par taxi-moto (zémidjans) représente une source d'emploi importante (environ 100 000) ;

## 3. Infrastructure et circulation

Le développement des infrastructures routières ne suit pas le rythme de la croissance urbaine. Le Grand Lomé et les grands axes tels que la RN1 connaissent une congestion régulière aux heures de pointe, accentuant les temps de trajet et les émissions polluantes. Par ailleurs, l'étalement urbain combiné à une faible densification traduit des lacunes de planification, générant des déplacements pendulaires source de pollution atmosphérique et par conséquent détériorant la qualité de l'air.



## D. Types de polluants émis par le transport

Les véhicules motorisés constituent une source majeure de pollution atmosphérique au Togo, en particulier dans les zones urbaines où la circulation est dense. Ils émettent plusieurs types de polluants aux effets bien documentés sur la santé et l'environnement. Ces polluants sont entre autres :

- **Les particules fines (PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>)** proviennent à la fois de la combustion du carburant et de l'usure des moteurs, des freins ou des pneumatiques. Leur petite taille leur permet de pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire, augmentant les risques de maladies cardiovasculaires et respiratoires.
- **Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)**, produit direct de la combustion, est particulièrement concentré dans les zones de trafic intense. Il contribue à l'irritation des voies respiratoires et peut aggraver des maladies chroniques comme l'asthme.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** résulte d'une combustion incomplète. Incolore et inodore, ce gaz interfère avec l'oxygénation du sang, ce qui en fait un danger sérieux, notamment pour les populations exposées dans des environnements confinés ou très pollués.
- **Les composés organiques volatils (COV)** proviennent surtout de l'évaporation du carburant. Ces substances réagissent dans l'atmosphère pour former de l'ozone troposphérique, un polluant secondaire qui affecte la qualité de l'air et a des conséquences sanitaires et environnementales importantes.

Le secteur des transports constitue l'une des principales sources d'exposition des populations urbaines à des polluants aux effets directs sur la santé publique.





### III. Pourquoi évaluer l'impact sanitaire ?

#### A. Les enjeux de santé publique

##### 1. Effets reconnus de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est aujourd'hui identifiée comme l'un des principaux risques environnementaux pour la santé humaine. Ses effets sont multiples et bien documentés. Elle accroît l'incidence des maladies respiratoires telles que l'asthme et les bronchites chroniques, contribue au développement de maladies cardiovasculaires graves, et affecte le développement des enfants, notamment leurs fonctions pulmonaires et cognitives. À long terme, elle est associée à un nombre élevé de décès prématurés, ce qui en fait une priorité de santé publique mondiale.

##### 2. Enjeux de l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique liée au transport

###### a. Enjeux sanitaires :

L'Organisation mondiale de la Santé considère la pollution atmosphérique comme un risque majeur pour la santé publique mondiale. Dans le cas du transport, l'évaluation précise des impacts permet de quantifier les effets locaux, d'identifier les populations vulnérables (enfants, personnes âgées, travailleurs en plein air) et de prioriser les interventions en fonction de leur efficacité.

###### b. Enjeux économiques :

Les conséquences économiques sont tout aussi importantes. La pollution atmosphérique engendre des dépenses de santé croissantes, liées au traitement des maladies qu'elle provoque ou aggrave. Elle entraîne aussi une perte de productivité par l'absentéisme et la baisse de performance des personnes affectées. À long terme, ces coûts pèsent sur le développement économique en réduisant le capital humain et la compétitivité des villes.

###### c. Enjeux sociaux

La dimension sociale ne peut être négligée. La pollution soulève des questions d'équité en santé, les populations défavorisées étant souvent les plus exposées et les moins protégées. Elle met également en jeu le droit à un environnement sain, reconnu comme un principe fondamental du développement durable. Enfin, elle affecte directement la qualité de vie urbaine, en réduisant l'attractivité des villes et en accentuant les tensions sociales liées aux inégalités environnementales.

## B. Le rôle des professionnels du transport

Les décideurs disposent de plusieurs leviers pour agir sur la qualité de l'air.

- La planification oriente le développement vers des transports durables, en renforçant l'offre collective et en réduisant la dépendance à la voiture.
- La régulation fixe des normes d'émission, impose des contrôles techniques efficaces et garantit la qualité des carburants.
- L'infrastructure façonne durablement les comportements : voies de transport collectif, pistes cyclables et espaces piétons encouragent les modes sobres en carbone.
- La sensibilisation informe les citoyens sur les risques sanitaires et les incite à adopter des pratiques de mobilité plus responsables.

## IV. Objectifs de ce manuel

### A. Objectif principal

L'objectif de ce manuel est fourni aux professionnels togolais des politiques de transport un guide pratique pour utiliser AirQ+, l'outil de l'OMS permettant d'évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

### B. Objectifs spécifiques

Ce manuel vise à renforcer les capacités des acteurs du transport au Togo autour de l'outil AirQ+. Il leur permettra d'abord de comprendre les bases de l'évaluation d'impact sanitaire, afin de saisir les liens entre pollution atmosphérique et santé publique. Les utilisateurs apprendront ensuite à installer et utiliser AirQ+, en maîtrisant chacune des étapes techniques.

Un accent particulier sera mis sur la collecte et la préparation des données, préalable essentiel à toute évaluation crédible. Le manuel guidera aussi l'analyse de scénarios de politique de transport, permettant de comparer les effets potentiels de différentes mesures.

Enfin, les professionnels seront accompagnés pour communiquer efficacement les résultats et pour intégrer ces évaluations au Programme Mobilité Verte, afin de transformer les analyses en leviers d'action concrets.

## C. Compétences développées

À l'issue de ce manuel, vous serez capable de :

- Installer et configurer AirQ+ sur votre ordinateur
- Comprendre les concepts statistiques de base nécessaires
- Identifier les sources de données pertinentes
- Réaliser une analyse d'impact sanitaire
- Interpréter les résultats obtenus
- Rédiger un rapport d'évaluation
- Présenter vos conclusions aux décideurs.

## V. À qui s'adresse ce guide ?

### A. Public principal

Ce manuel est destiné aux professionnels travaillant dans le domaine des transports et de la mobilité au Togo :

- Cadres techniques et administratifs
- Chargés de projets et de programmes
- Planificateurs et urbanistes
- Responsables de collectivités territoriales.

### B. Utilisateurs potentiels

Peuvent également bénéficier de ce guide :

- Professionnels de la santé publique
- Consultants et bureaux d'études
- Organisations non gouvernementales
- Chercheurs et étudiants
- Partenaires techniques et financiers.

### C. Prérequis

#### a. Connaissances requises :

Pour utiliser AirQ+, il est nécessaire de disposer de compétences de base en informatique et de savoir manipuler des tableurs comme Excel. Une compréhension générale du secteur des transports est également indispensable, afin de relier correctement les données saisies aux réalités locales et d'interpréter les résultats avec pertinence.



## **b. Connaissances NON requises :**

En revanche, l'outil ne demande pas de formation médicale ou épidémiologique. Il n'exige pas non plus de maîtrise avancée des statistiques ni d'expérience en modélisation atmosphérique. AirQ+ a été conçu pour être accessible à des professionnels non spécialistes, tout en garantissant une rigueur scientifique suffisante pour éclairer la décision publique.

## **VI. Mode d'emploi du manuel**

### **A. Structure du manuel :**

1. Chapitres théoriques (1-4) : Concepts et contexte
2. Chapitres pratiques (5-7) : Utilisation d'AirQ+
3. Chapitres avancés (8-10) : Approfondissements
4. Annexes : Ressources complémentaires.

### **B. Approche pédagogique :**

- Progression du simple au complexe
- Nombreux exemples pratiques
- Exercices d'application
- Points de vigilance signalés
- Résumés en fin de chapitre.

### **C. Limites et précautions**

Ce manuel doit être utilisé avec discernement.

Il repose d'abord sur les connaissances scientifiques disponibles à ce jour, lesquelles sont susceptibles d'évoluer au fil des avancées de la recherche. Les utilisateurs doivent garder à l'esprit que les conclusions tirées aujourd'hui pourront être précisées ou révisées demain. L'efficacité d'AirQ+ dépend largement de la qualité et de la disponibilité des données locales. Sans informations fiables sur la pollution et la démographie, les résultats risquent d'être partiels ou peu représentatifs de la réalité togolaise. Par ailleurs, les résultats produits par l'outil constituent des estimations et non des prédictions exactes. Ils offrent une mesure indicative des impacts sanitaires, mais ne remplacent pas des analyses plus approfondies lorsque celles-ci sont possibles. Enfin, AirQ+ doit être considéré comme un outil d'aide à la décision parmi d'autres. Il apporte une base scientifique solide pour éclairer les politiques publiques, mais doit être complété par d'autres approches, notamment économiques, sociales et environnementales, afin d'assurer une prise de décision équilibrée et robuste.



## CHAPITRE 2 : COMPRENDRE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE



## I. Les polluants atmosphériques principaux

### A. Qu'est-ce qu'un polluant atmosphérique ?

Un polluant atmosphérique est toute substance présente dans l'air qui peut avoir des effets nocifs sur la santé humaine, les écosystèmes ou les biens matériels. Ces substances peuvent être d'origine naturelle ou résulter des activités humaines (origine anthropique).

### B. Les particules en suspension (PM)

#### 1. Définition:

Les particules en suspension, appelées PM (Particulate Matter en anglais), sont de minuscules particules solides ou liquides présentes dans l'air. Elles sont classées selon leur diamètre aérodynamique.

#### 2. PM<sub>10</sub> : Particules grossières

Les particules PM<sub>10</sub> sont définies par un diamètre inférieur à 10 micromètres (µm). Elles restent environ sept fois plus fines qu'un cheveu humain, ce qui leur permet de se maintenir longtemps en suspension dans l'air et de se déplacer sur de longues distances.

Leurs sources principales sont multiples. Elles proviennent des poussières de route soulevées par les véhicules, de l'usure des pneus et des freins, mais aussi des activités de construction et des poussières naturelles transportées par l'harmattan. Ces différentes origines expliquent leur forte présence dans l'air ambiant, particulièrement dans les zones urbaines et en saison sèche.

Lorsqu'elles sont inhalées, les PM<sub>10</sub> pénètrent dans les voies respiratoires supérieures. Elles s'y déposent et peuvent provoquer des irritations, des inflammations et aggraver certaines pathologies respiratoires chroniques, en particulier chez les enfants et les personnes vulnérables.



### 3. PM<sub>2,5</sub> : Particules fines

Les particules PM<sub>2,5</sub> se caractérisent par un diamètre inférieur à 2,5 micromètres (µm). Elles sont environ trente fois plus fines qu'un cheveu humain, ce qui leur confère une capacité de pénétration beaucoup plus profonde dans l'organisme. Leurs sources principales sont liées aux activités de combustion. Elles proviennent notamment de l'utilisation de carburants fossiles comme l'essence et le diesel, des émissions des véhicules, de la combustion domestique du bois et du charbon, ainsi que de certains procédés industriels. Ces particules, invisibles à l'œil nu, représentent l'une des composantes les plus préoccupantes de la pollution urbaine. En raison de leur extrême finesse, les PM<sub>2,5</sub> atteignent les alvéoles pulmonaires et peuvent même pénétrer dans la circulation sanguine. Cette capacité accroît considérablement leurs impacts sanitaires, en lien avec des maladies cardiovasculaires, respiratoires et un risque accru de décès prématuré.

### 4. Pourquoi sont-elles dangereuses ?

Les effets des particules dépendent directement de leur taille et de leur capacité à pénétrer dans l'organisme.

Les PM<sub>10</sub>, plus grossières, s'arrêtent généralement au niveau du nez, de la gorge et des bronches. Leur présence provoque des irritations, de la toux et peut aggraver l'asthme ou d'autres affections respiratoires déjà existantes.

Les PM<sub>2,5</sub>, beaucoup plus fines, atteignent les alvéoles pulmonaires et peuvent franchir la barrière pulmonaire pour passer dans le sang. Leur impact est donc plus grave : elles sont associées à des maladies cardiovasculaires, à certains cancers et à un risque accru de décès prématurés.

Ainsi, si les deux types de particules posent des risques sanitaires, ce sont les PM<sub>2,5</sub> qui constituent la menace la plus sérieuse, en raison de leur capacité à atteindre et affecter l'ensemble du système cardiovasculaire.

**Tableau récapitulatif :**

Type	Pénétration	Effets principaux
PM <sub>10</sub>	Nez, gorge, bronches	Irritations, toux, aggravation de l'asthme
PM <sub>2,5</sub>	Poumons profonds, sang	Maladies cardiovasculaires, cancers, décès prématurés

## C. Les polluants gazeux

### 1. Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Le dioxyde d'azote provient principalement de la combustion à haute température, en particulier dans les moteurs des véhicules. Gaz brun-rouge à l'odeur âcre, il est facilement perceptible dans les zones de trafic intense. Son inhalation provoque une inflammation des voies respiratoires, réduit la fonction pulmonaire et augmente la sensibilité aux infections.

### 2. Ozone troposphérique (O<sub>3</sub>)

Contrairement au NO<sub>2</sub>, l'ozone troposphérique est un polluant secondaire. Il se forme par réaction chimique entre le NO<sub>2</sub>, les composés organiques volatils (COV) et le rayonnement solaire. Les concentrations sont particulièrement élevées lors des journées ensoleillées, notamment en après-midi. L'ozone entraîne des irritations oculaires et respiratoires, diminue la capacité pulmonaire et aggrave des maladies chroniques comme l'asthme.

### 3. Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Le dioxyde de soufre est issu de la combustion de carburants contenant du soufre. Sa présence dans l'air provoque des irritations respiratoires et contribue aux pluies acides, qui détériorent les écosystèmes et les infrastructures.

### 4. Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone résulte d'une combustion incomplète, fréquente dans les moteurs mal entretenus. Ce gaz incolore et inodore réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène, entraînant des symptômes tels que maux de tête, vertiges et nausées, avec des risques graves en cas d'exposition prolongée.

## D. Comprendre les unités de mesure

### 1. Microgrammes par mètre cube (µg/m<sup>3</sup>)

Le microgramme par mètre cube constitue l'unité de référence pour mesurer la concentration des polluants dans l'air. Un microgramme équivaut à un millionième de gramme. Ainsi, lorsqu'on indique une concentration de 25 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2,5</sub>, cela signifie que chaque mètre cube d'air contient 25 microgrammes de particules fines en suspension. Cette unité permet de comparer facilement les niveaux de pollution et de suivre leur évolution dans le temps.



## 2. Parties par milliard (ppb)

Pour certains gaz, la mesure est exprimée en parties par milliard (ppb), qui reflète la proportion de molécules de polluant dans un volume d'air. Toutefois, afin d'utiliser ces données dans AirQ+, une conversion en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est indispensable.

Les facteurs de conversion les plus couramment utilisés sont les suivants :

- $\text{NO}_2$  : 1 ppb = 1,88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- $\text{O}_3$  : 1 ppb = 2,00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## II. Sources de pollution au Togo

### A. Sources mobiles (Transport)

#### 1. Véhicules légers

Le parc de véhicules légers au Togo est composé principalement de voitures particulières, de taxis urbains et interurbains, ainsi que de pick-up et de petits utilitaires. Ces véhicules, souvent anciens et mal entretenus, contribuent de manière significative à la pollution atmosphérique. Ils émettent notamment des particules fines ( $\text{PM}_{2,5}$ ), du dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), du monoxyde de carbone (CO) et des composés organiques volatils (COV). Leur présence massive dans les centres urbains accentue l'exposition des populations aux polluants, particulièrement dans les zones de forte densité de circulation comme Lomé.

#### 2. Deux-roues motorisés

Les deux-roues motorisés, en particulier les motos-taxis appelés zémidjans, constituent un pilier central de la mobilité urbaine. Ils représentent non seulement un mode de transport rapide et accessible, mais également une source importante d'emplois. Cependant, une grande partie de ces véhicules est équipée de moteurs deux-temps, connus pour être particulièrement polluants. Ils émettent des particules, du monoxyde de carbone et une proportion élevée d'hydrocarbures imbrûlés, aggravant ainsi la pollution de proximité à laquelle sont exposés les conducteurs, les passagers et les riverains.

#### 3. Transport lourd

Les camions de marchandises, les bus et les autocars assurent la majorité du transport interurbain et logistique. La prédominance de moteurs diesel, combinée à des charges lourdes et à une maintenance souvent insuffisante, génère des émissions importantes de particules (notamment les suies noires) et de dioxyde d'azote. Leur impact est particulièrement visible le long des grands axes routiers, où la circulation de poids lourds reste intense.

## 4. Transport maritime et fluvial

Enfin, les activités maritimes et fluviales, concentrées autour du port de Lomé et de la navigation sur le lac Togo, contribuent également aux émissions. L'utilisation de carburants riches en soufre entraîne le rejet de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), en plus des particules et du NO<sub>2</sub>. Bien que moins visibles que les sources routières, ces émissions constituent une problématique émergente, en particulier dans les zones côtières.

## B. Sources fixes

### 1. Domestiques

Les activités domestiques constituent une source majeure de pollution atmosphérique au Togo. La cuisson des repas, souvent réalisée au charbon de bois ou au bois de feu, génère d'importantes quantités de particules fines et de monoxyde de carbone, affectant directement la santé des ménages. À cela s'ajoute l'utilisation croissante de générateurs électriques, conséquence des insuffisances du réseau de distribution. Ces équipements, fonctionnant au diesel ou à l'essence, émettent des polluants similaires à ceux du transport routier, avec un impact marqué dans les zones urbaines denses. Enfin, le brûlage des déchets domestiques, encore pratiqué faute de systèmes efficaces de collecte et de traitement, libère des particules et des composés organiques nocifs, aggravant la pollution de proximité.

### 2. Industrielles et artisanales

Le tissu industriel et artisanal togolais, bien que limité en comparaison avec d'autres pays de la sous-région, contribue de manière non négligeable aux émissions atmosphériques. Les cimenteries et certaines unités agroalimentaires rejettent des poussières et des gaz issus de la combustion. À une échelle plus diffuse, les ateliers de soudure, de menuiserie et les boulangeries traditionnelles participent également à la pollution locale, souvent sans dispositifs de filtration ou de contrôle des émissions. Ces activités, concentrées dans et autour des villes, exposent directement les travailleurs et les riverains à des concentrations élevées de polluants.

### 3. Agricoles

Le secteur agricole, pilier de l'économie togolaise, génère-lui aussi des émissions spécifiques. Le brûlage des résidus agricoles après récolte libère des particules fines et contribue à la dégradation de la qualité de l'air en milieu rural. L'utilisation d'engrais chimiques, quant à elle, émet des composés azotés, tandis que l'élevage produit de l'ammoniac, un gaz qui, en réagissant dans l'atmosphère, participe à la formation secondaire de particules. Ces émissions, souvent moins visibles que celles issues du transport ou de l'industrie, jouent néanmoins un rôle important dans l'exposition chronique des populations rurales et périurbaines.

## C. Sources naturelles

### 1. Poussières sahariennes

Chaque année, entre novembre et mars, le Togo est exposé aux vents de l'Harmattan, qui transportent d'immenses quantités de poussières en provenance du Sahara. Ce phénomène naturel entraîne une élévation marquée des concentrations de particules grossières (PM10), avec des pics pouvant dépasser largement les seuils recommandés par l'OMS. Bien qu'indépendant des activités humaines locales, cet apport de poussières contribue significativement à la pollution de fond et exacerbe les risques sanitaires, notamment pour les personnes souffrant de maladies respiratoires chroniques.

### 2. Érosion éolienne

En dehors des apports sahariens, l'érosion éolienne constitue une autre source importante de particules, particulièrement dans les zones où les routes ne sont pas revêtues ou où les terrains restent nus. La circulation des véhicules soulève des quantités importantes de poussières qui se dispersent dans l'air ambiant, aggravant l'exposition quotidienne des riverains. Les carrières, chantiers de construction et autres espaces ouverts accentuent ce phénomène, surtout en saison sèche.

### 3. Embruns marins

La proximité du littoral génère également des émissions naturelles, principalement sous forme de particules de sel issues des embruns marins. Leur impact reste toutefois limité à la bande côtière et, contrairement aux poussières minérales ou aux particules issues de la combustion, ces aérosols marins présentent une nocivité relativement faible. Leur contribution à la pollution atmosphérique est donc marginale comparée aux autres sources naturelles.

## D. Facteurs aggravants

### 1. Qualité des carburants

La qualité du carburant utilisé au Togo constitue un facteur déterminant de la pollution liée aux transports. La teneur élevée en soufre, la présence d'additifs ou de contaminants, ainsi que la circulation de carburants issus de la contrebande compromettent l'efficacité des moteurs et augmentent les émissions nocives. Ces pratiques limitent par ailleurs l'introduction de technologies plus propres, comme les filtres à particules, qui exigent un carburant de meilleure qualité pour fonctionner correctement.

## 2. État des infrastructures

Les infrastructures routières amplifient également les émissions. Les routes dégradées, courantes dans de nombreuses zones urbaines et rurales, favorisent l'usure prématurée des véhicules et l'augmentation des particules en suspension. L'absence de voies de contournement contraint les poids lourds à traverser les centres urbains, aggravant la pollution locale. Enfin, la congestion chronique, particulièrement marquée à Lomé, entraîne des ralentissements prolongés et une combustion inefficace du carburant, ce qui accroît les émissions de polluants par kilomètre parcouru.

## 3. Maintenance des véhicules

La maintenance insuffisante des véhicules constitue un autre facteur aggravant majeur. De nombreux véhicules circulent avec des systèmes de contrôle des émissions défectueux ou inexistant, faute d'entretien régulier. L'usage d'huiles de mauvaise qualité et les modifications techniques non conformes – par exemple le retrait des catalyseurs – contribuent également à détériorer la performance environnementale du parc automobile. Ces pratiques renforcent la charge polluante globale et réduisent considérablement l'efficacité des politiques de contrôle.

# III. Effets sur la santé

## A. Mécanismes d'action des polluants

### 1. Voies d'exposition

La principale voie d'exposition aux polluants atmosphériques est l'inhalation. Les particules et gaz pénètrent directement dans l'appareil respiratoire, où ils peuvent provoquer des inflammations, des irritations et, dans les cas les plus graves, atteindre la circulation sanguine. À cela s'ajoutent des voies secondaires : les particules déposées sur les aliments peuvent être ingérées, introduisant ainsi les polluants dans le système digestif. Le contact cutané, bien que moins significatif, peut également contribuer à l'exposition, notamment dans les zones à forte pollution particulaire.

### 2. Facteurs de vulnérabilité

Les effets des polluants varient considérablement selon la sensibilité des individus. L'âge est un facteur déterminant : les enfants, dont les organes sont en développement, et les personnes âgées, souvent fragilisées par des maladies chroniques, sont particulièrement vulnérables. L'état de santé joue également un rôle clé : les individus souffrant déjà de pathologies respiratoires ou cardiovasculaires voient leurs symptômes aggravés. Le niveau d'activité influence aussi l'exposition : un effort physique intense augmente le volume d'air inhalé et donc la quantité de polluants absorbés. Enfin, la durée d'exposition reste critique,

car les effets sont cumulatifs et peuvent entraîner, sur le long terme, des maladies chroniques ou des complications sévères.

## **B. Effets à court terme (heures à jours)**

### **1. Symptômes immédiats**

L'exposition à la pollution atmosphérique peut provoquer des effets quasi instantanés. Les plus courants sont l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, une toux persistante, des difficultés respiratoires, mais aussi des maux de tête et une sensation inhabituelle de fatigue. Ces manifestations, bien que souvent temporaires, témoignent de l'impact direct des polluants sur l'organisme.

### **2. Exacerbation de maladies existantes**

Au-delà des symptômes passagers, la pollution agit comme un catalyseur de maladies chroniques. Les crises d'asthme deviennent plus fréquentes et plus sévères, les bronchites aiguës s'intensifient, tandis que les personnes atteintes de pathologies cardiaques peuvent connaître des épisodes de décompensation.

### **3. Populations particulièrement à risque**

Certains groupes de population sont davantage exposés aux effets immédiats. Les enfants asthmatiques et les personnes âgées figurent parmi les plus vulnérables, de même que les travailleurs en extérieur, constamment en contact avec l'air pollué. Les sportifs, quant à eux, inhalent un volume d'air plus important pendant l'effort, ce qui accroît mécaniquement la quantité de polluants pénétrant dans leurs poumons.

## **C. Effets à long terme (années)**

### **1. Système respiratoire**

Une exposition chronique à la pollution atmosphérique fragilise durablement l'appareil respiratoire. Chez l'enfant, elle est associée à un risque accru de développer de l'asthme, compromettant ainsi la qualité de vie dès le plus jeune âge. Chez l'adulte, la répétition des agressions sur les voies aériennes favorise l'apparition de bronchites chroniques et accélère la perte progressive de la fonction pulmonaire. À long terme, certaines substances, notamment les particules fines et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, augmentent le risque de cancer du poumon.



## 2. Système cardiovasculaire

Les effets ne se limitent pas aux poumons. Les polluants pénètrent dans la circulation sanguine et contribuent à l'inflammation chronique des vaisseaux. Ce processus est directement lié à l'hypertension artérielle et accroît la probabilité de pathologies cardiovasculaires majeures. Les études montrent une corrélation forte entre la pollution de l'air et l'incidence accrue d'infarctus du myocarde, d'accidents vasculaires cérébraux et d'insuffisance cardiaque. Autrement dit, la pollution atmosphérique agit comme un facteur de risque silencieux mais puissant pour l'ensemble du système cardio-vasculaire.

### D. Autres effets

Au-delà des atteintes respiratoires et cardiovasculaires, la pollution atmosphérique exerce des impacts plus diffus mais tout aussi préoccupants sur la santé humaine. Chez l'enfant, l'exposition précoce peut entraîner un retard de développement cognitif et physique, compromettant le potentiel éducatif et productif à long terme. Les études montrent également un lien entre la pollution de l'air et un faible poids à la naissance, facteur de risque pour diverses maladies chroniques à l'âge adulte. Le système nerveux n'est pas épargné : certains polluants, notamment les particules ultrafines capables de franchir la barrière hémato-encéphalique, sont associés à des troubles neurologiques, allant des difficultés d'apprentissage à un risque accru de maladies neurodégénératives.

L'effet cumulatif de ces expositions répétées se traduit par une diminution mesurable de l'espérance de vie, rappelant que la pollution atmosphérique n'est pas seulement une nuisance environnementale, mais un déterminant majeur de la santé publique.

### E. La notion de dose-réponse

Un principe central en santé environnementale est celui de la relation dose-réponse. Il établit que plus la concentration d'un polluant est élevée et plus la durée d'exposition est prolongée, plus les effets sur la santé deviennent graves et fréquents. Un élément particulièrement préoccupant réside dans l'absence de seuil pour de nombreux polluants atmosphériques. Autrement dit, il n'existe pas de niveau d'exposition considéré comme totalement sûr : même des concentrations faibles peuvent déclencher des effets indésirables, notamment chez les personnes les plus vulnérables comme les enfants, les personnes âgées ou celles souffrant déjà de maladies chroniques. Enfin, la pollution atmosphérique ne se limite pas à l'action isolée d'un seul polluant. L'exposition simultanée à plusieurs substances peut produire des effets cumulatifs ou synergiques, amplifiant les risques au-delà de la simple addition des impacts individuels. Cette dimension rend d'autant plus nécessaire une approche intégrée d'évaluation et de gestion des risques.

## IV. Normes et recommandations

### A. Les lignes directrices de l'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé a établi des valeurs guides pour protéger la santé publique. Ces valeurs ont été mises à jour en 2021.

Valeurs guides OMS 2021

Polluant	Moyenne annuelle	Moyenne 24h	Note
PM <sub>2,5</sub>	5 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	Pas plus de 3-4 jours/an
PM <sub>10</sub>	15 µg/m <sup>3</sup>	45 µg/m <sup>3</sup>	Pas plus de 3-4 jours/an
NO <sub>2</sub>	10 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	-
O <sub>3</sub>	-	100 µg/m <sup>3</sup> (8h)	Saison de pointe

### B. Les objectifs intermédiaires

Reconnaissant que de nombreux pays ne peuvent atteindre immédiatement les valeurs guides, l'OMS propose des objectifs intermédiaires :

Objectifs intermédiaires pour PM<sub>2,5</sub>

- OI-1 : 35 µg/m<sup>3</sup> (moyenne annuelle)
- OI-2 : 25 µg/m<sup>3</sup>
- OI-3 : 15 µg/m<sup>3</sup>
- OI-4 : 10 µg/m<sup>3</sup>
- Valeur guide : 5 µg/m<sup>3</sup>

### C. Situation réglementaire au Togo

#### 1. Cadre juridique

Le Togo dispose d'un socle juridique en matière d'environnement, notamment à travers le Code de l'environnement, qui fixe les grands principes de protection et de gestion durable. Des normes sectorielles sont également en cours de développement afin de mieux encadrer des domaines spécifiques comme le transport ou l'énergie. Par ailleurs, le pays a ratifié plusieurs conventions internationales relatives à la pollution atmosphérique et au climat, confirmant ainsi son engagement à aligner ses politiques sur les standards internationaux.

## 2. Défis réglementaires

Malgré ces avancées, plusieurs défis demeurent. Le plus important est l'absence de normes nationales spécifiques sur la qualité de l'air, ce qui limite la capacité à fixer des seuils clairs et applicables. À cela s'ajoute le manque d'infrastructures de surveillance, qui empêche une collecte régulière et représentative des données atmosphériques. Enfin, même lorsque des standards internationaux existent, il est indispensable de les adapter au contexte local, notamment aux spécificités climatiques, socio-économiques et structurelles du Togo.

## D. Comparaison internationale

### 1. Approches régionales

Au niveau régional, plusieurs dynamiques sont en cours pour mieux encadrer la qualité de l'air. La CEDEAO travaille à une harmonisation progressive des réglementations, afin d'éviter des disparités qui pourraient freiner les efforts communs. De son côté, l'Union Africaine, à travers l'Agenda 2063, reconnaît la qualité de l'air comme un enjeu stratégique de développement durable, au même titre que la lutte contre le changement climatique.

Dans la sous-région, certains pays voisins comme le Ghana et le Bénin ont déjà entamé des démarches plus avancées. Ces expériences offrent des références utiles pour le Togo dans l'élaboration de son propre cadre.

### 2. Bonnes pratiques à adapter

Au-delà des initiatives régionales, plusieurs bonnes pratiques internationales méritent une attention particulière. La première consiste à assurer une surveillance régulière et fiable de la qualité de l'air, condition indispensable pour disposer d'indicateurs solides et orienter les politiques publiques. La deuxième repose sur l'information du public, qui doit être claire, accessible et continue, afin de responsabiliser les citoyens et réduire leur exposition lors des pics de pollution.

À cela s'ajoute la mise en place de plans d'action en cas d'épisodes critiques, permettant de déployer rapidement des mesures de restriction ou d'alerte. Enfin, une bonne pratique largement reconnue consiste à intégrer la qualité de l'air dans la planification urbaine, par exemple en favorisant la mobilité douce, la végétalisation ou encore la gestion intelligente de la circulation.

## V. Exercices pratiques

### Exercice 1 : Identifier les sources

Dans votre zone de travail, listez :

1. Les 5 principales sources de pollution atmosphérique
2. Les polluants probablement émis par chaque source
3. Les périodes de la journée où la pollution est maximale

### Exercice 2 : Conversion d'unités

Convertissez les valeurs suivantes :

1. 20 ppb de  $\text{NO}_2$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. 50 ppb d' $\text{O}_3$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3. Comparez  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  aux normes OMS

#### Réponses :

1.  $20 \times 1,88 = 37,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$
2.  $50 \times 2,00 = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
3.  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 6$  fois la valeur guide OMS

### Exercice 3 : Analyse de situation

Scénario : Un axe routier majeur traverse un quartier résidentiel avec une école primaire.

#### Questions :

1. Quels polluants sont probablement présents ?
2. Quelles populations sont à risque ?
3. Quelles mesures pourriez-vous proposer ?

### Exercice 4 : Préparation de données

Créez un tableau avec :

- Types de véhicules dans votre ville
- Estimation de leur nombre
- Carburant utilisé
- Âge moyen
- Polluants principaux émis

## Points clés à retenir

1. **Polluants principaux** : PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ont des sources et effets différents
2. **Sources multiples** : Transport majoritaire en ville, mais autres sources à considérer
3. **Effets sanitaires** : Court terme (irritations) et long terme (maladies chroniques)
4. **Populations vulnérables** : Enfants, personnes âgées, malades chroniques
5. **Normes OMS** : Objectifs ambitieux mais nécessaires pour protéger la santé
6. **Contexte local** : Adapter les solutions aux réalités togolaises







## CHAPITRE 3 : CONCEPTS STATISTIQUES ESSENTIELS



## I. Le risque relatif expliqué simplement

### A. Qu'est-ce que le risque relatif ?

Le risque relatif (RR) est un concept fondamental en épidémiologie qui compare la probabilité qu'un événement de santé survienne dans deux groupes différents. Dans le contexte de la pollution atmosphérique, il compare le risque de maladie ou de décès entre une population exposée à la pollution et une population moins exposée.

### B. Comprendre par l'analogie

#### 1. Analogie du parapluie sous la pluie

Imaginez deux groupes de personnes sous la pluie :

- Groupe A : 100 personnes SANS parapluie → 80 sont mouillées
- Groupe B : 100 personnes AVEC parapluie → 10 sont mouillées

Le risque d'être mouillé :

- Sans parapluie :  $80/100 = 0,80$  (80%)
- Avec parapluie :  $10/100 = 0,10$  (10%)

Le risque relatif =  $0,80 / 0,10 = 8$

**Interprétation :** Les personnes sans parapluie ont 8 fois plus de risque d'être mouillées.

### C. Application à la pollution atmosphérique

#### 1. Exemple concret avec les PM<sub>2,5</sub>

Considérons deux quartiers :

- **Quartier A (peu pollué) :** PM<sub>2,5</sub> = 10 µg/m<sup>3</sup>
  - **Taux de mortalité :** 800 décès/100 000 habitants/an
- **Quartier B (pollué) :** PM<sub>2,5</sub> = 30 µg/m<sup>3</sup>
  - **Taux de mortalité :** 850 décès/100 000 habitants/an

Calcul du risque relatif :

- $RR = 850/800 = 1,0625$

**Interprétation :** Le risque de décès est 6,25% plus élevé dans le quartier pollué.

## D. Comment utiliser le risque relatif dans AirQ+

Valeurs typiques pour différents polluants

Polluant	Effet sanitaire	RR pour 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Source
PM <sub>2,5</sub>	Mortalité toutes causes	1,062	OMS HRAPIE
PM <sub>2,5</sub>	Mortalité cardiovasculaire	1,11	Méta-analyses
NO <sub>2</sub>	Mortalité respiratoire	1,03	Études européennes
O <sub>3</sub>	Mortalité respiratoire	1,014	OMS

**Important :** Ces valeurs sont des moyennes issues d'études dans différents pays. Les risques réels peuvent varier selon le contexte local.

## E. Exercice pratique 1

Dans une zone rurale, on observe en moyenne 5 hospitalisations pour asthme pour 1 000 habitants chaque année. En comparaison, une zone urbaine exposée à une pollution élevée enregistre 8 hospitalisations pour 1 000 habitants/an.

**La question est la suivante :** quel est le risque relatif (RR) associé à la pollution urbaine, et comment peut-on l'expliquer simplement ?

**Calcul.**

Le risque relatif se détermine en divisant le taux observé en zone urbaine par celui de la zone rurale :

$$\text{RR} = 8/5 = 1,6.$$

**Interprétation.**

Ce résultat signifie que les habitants de la zone urbaine polluée présentent un risque 60 % plus élevé d'être hospitalisés pour asthme que ceux de la zone rurale. Dit autrement, la pollution atmosphérique en milieu urbain représente un facteur aggravant tangible pour la santé respiratoire.

## II. L'intervalle de confiance

### A. Pourquoi avons-nous besoin d'intervalles de confiance ?

Aucune étude scientifique ne peut donner un résultat parfaitement exact. L'intervalle de confiance (IC) nous indique la plage dans laquelle se trouve probablement la vraie valeur, compte tenu de l'incertitude inhérente aux données.

### B. L'intervalle de confiance à 95% - Concept

Pour comprendre la notion d'intervalle de confiance, il est utile de recourir à une analogie simple. Imaginons que l'on mesure la température extérieure à l'aide de différents thermomètres. Après 100 mesures, la température moyenne observée est de 25 °C. Pourtant, les valeurs ne sont pas identiques à chaque mesure : elles fluctuent entre 23 °C et 27 °C.

Dans ce cas, on peut dire que l'intervalle de confiance à 95 % (IC 95 %) se situe entre 23 °C et 27 °C. Autrement dit, nous pouvons affirmer avec un haut degré de certitude (95 %) que la vraie température réelle se trouve dans cet intervalle.

L'intérêt de cette approche est qu'elle ne se limite pas à donner une valeur unique, mais fournit une fourchette plausible qui reflète les incertitudes liées aux données.

### C. Application aux études de pollution

#### Exemple avec un risque relatif

Une étude trouve : RR = 1,08 (IC 95% : 1,04 - 1,12)

Cela signifie :

- **Estimation centrale** : Augmentation du risque de 8%
- **Limite inférieure** : Au minimum, augmentation de 4%
- **Limite supérieure** : Au maximum, augmentation de 12%
- **Confiance** : 95% de certitude que la vraie valeur est dans cet intervalle

### D. Importance pour la prise de décision

L'intervalle de confiance joue un rôle central dans l'évaluation de la fiabilité des résultats et, par conséquent, dans la prise de décision. Deux situations illustrent bien cette importance.

- Dans le premier cas, imaginons un risque relatif (RR) de 1,10, accompagné d'un intervalle de confiance étroit, allant de 1,08 à 1,12. Ici, le message est clair : l'effet observé est robuste et la probabilité d'erreur est faible. Cette solidité statistique facilite

la décision, car les décideurs peuvent agir en sachant que l'impact mesuré est réel et relativement certain.

- Dans le second cas, le risque relatif reste le même (1,10), mais l'intervalle de confiance est beaucoup plus large, allant de 0,95 à 1,25. La situation change radicalement. L'incertitude est forte : l'effet pourrait être plus important que prévu, mais il pourrait aussi être nul, voire légèrement protecteur ( $RR < 1$ ). Dans un tel contexte, les résultats doivent être interprétés avec prudence. Les décideurs peuvent hésiter à engager des ressources ou à modifier des politiques publiques sur cette seule base, et il devient alors nécessaire de compléter l'analyse par de nouvelles études ou par d'autres sources de données.

En résumé, un intervalle étroit renforce la confiance et accélère la décision, tandis qu'un intervalle large appelle à la prudence et à la recherche de validations complémentaires.

## E. Comment AirQ+ utilise les intervalles de confiance

L'un des atouts d'AirQ+ est sa capacité à traduire l'incertitude statistique en résultats concrets et exploitables. Plutôt que de livrer une seule valeur, l'outil fournit trois estimations distinctes.

D'abord, l'estimation centrale, qui s'appuie sur le risque relatif principal. Elle représente la valeur la plus probable et sert généralement de référence. Ensuite, l'estimation basse, calculée à partir de la borne inférieure de l'intervalle de confiance. Elle illustre le scénario le plus prudent, dans lequel l'impact de la pollution pourrait être plus limité. Enfin, l'estimation haute, basée sur la borne supérieure de l'intervalle, met en évidence la possibilité que les effets sanitaires soient plus sévères qu'anticipé.

En combinant ces trois résultats, AirQ+ offre une vision complète : non seulement l'effet attendu, mais aussi l'éventail des possibles. Pour les décideurs, cette approche est particulièrement utile, car elle permet d'anticiper les scénarios les plus optimistes comme les plus critiques, et d'élaborer des politiques publiques proportionnées au degré d'incertitude.

Exemple de résultat AirQ+

- **Décès évitables** : 150 (IC 95% : 100 - 200)
- **Message** : "Entre 100 et 200 décès pourraient être évités, avec une meilleure estimation à 150"



## 1. Exercice pratique 2

Données d'une étude : RR pour PM10 et hospitalisations = 1,05 (IC 95% : 1,02 - 1,08)

### Questions :

1. Quelle est l'augmentation minimale probable du risque ?
2. Si une politique réduit l'exposition de moitié, quel serait l'impact minimal et maximal ?

### Solutions :

1. Augmentation minimale = 2% (RR = 1,02)
2. Impact minimal = 1%, Impact maximal = 4% (en divisant par 2)

## III. La proportion attribuable

### A. Concept de base

La proportion attribuable (PA) répond à la question : "Quelle part du problème de santé est causée par la pollution ?"

Formule simplifiée :  $PA = (RR - 1) / RR \times 100\%$

Exemple illustratif

- **Situation :**
  - RR = 1,25 pour les maladies respiratoires dues aux PM2,5
  - Calcul :  $PA = (1,25 - 1) / 1,25 \times 100\% = 20\%$
- **Interprétation :** "20% des maladies respiratoires dans cette population sont attribuables à l'exposition aux PM2,5".



## B. De la proportion au nombre de cas

### Étapes de calcul :

La proportion attribuable indique la part d'un problème de santé liée à la pollution. Pour la transformer en données opérationnelles, il faut passer au nombre de cas attribuables.

La méthode est simple :

1. Identifier le nombre total de cas observés (ex. décès, hospitalisations).
2. Multiplier ce chiffre par la proportion attribuable.
3. Obtenir ainsi le nombre de cas directement liés à la pollution.

Ce passage des pourcentages aux nombres absolus rend les résultats plus concrets et facilite la prise de décision.

Exemple concret :

- **Population** : 100 000 habitants
- **Décès cardiovasculaires** : 500 par an
- PA = 15% (due à la pollution)
- Cas attribuables =  $500 \times 0,15 = 75$  décès.

## C. Utilisation pour l'évaluation des politiques

**Scénario** : Réduction de la pollution

Situation actuelle :

- PM<sub>2,5</sub> = 30 µg/m<sup>3</sup>
- PA = 12%
- Décès attribuables = 120

**Après intervention** :

- PM<sub>2,5</sub> = 20 µg/m<sup>3</sup>
- PA = 8%
- Décès attribuables = 80

**Bénéfice** : 40 décès évités par an.

## D. Facteurs influençant la proportion attribuable

La proportion attribuable dépend de trois éléments principaux :

- **Niveau de pollution** : Plus la concentration de polluants est élevée, plus la part de maladies ou de décès imputables à la pollution augmente.
- **Caractéristiques de la population** : L'âge, l'état de santé ou certains comportements (tabagisme, travail en extérieur) accroissent la vulnérabilité et donc la PA.
- **Type de polluant et effet sanitaire** : Les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) provoquent des impacts plus graves que les PM<sub>10</sub>, notamment sur le système cardiovasculaire. La gravité de l'effet dépend aussi de la pathologie considérée : irritation passagère ou maladie chronique.

En combinant ces facteurs, on obtient une estimation plus réaliste de l'impact sanitaire et un appui solide pour orienter les politiques publiques.

## E. Exercice pratique 3

**Données :**

- RR pour NO<sub>2</sub> et asthme infantile = 1,15
- Cas d'asthme infantile dans la ville = 2000 par an

**Questions :**

1. Calculez la proportion attribuable
2. Combien de cas sont dus à la pollution au NO<sub>2</sub> ?
3. Si on réduit le NO<sub>2</sub> de moitié, combien de cas éviterait-on approximativement ?

**Solutions :**

1.  $PA = (1,15 - 1) / 1,15 \times 100\% = 13\%$
2. Cas attribuables =  $2000 \times 0,13 = 260$  cas
3. Environ 130 cas évités (la moitié).

## IV. Exemples concrets

**Exemple 1 : Impact des zémidjans à Lomé**

- **Contexte hypothétique :**
  - **Zone A** : Faible trafic de zémidjans
  - **Zone B** : Fort trafic de zémidjans

- Différence de PM<sub>2,5</sub> : 15 µg/m<sup>3</sup>
- **Application des concepts :**
  - Risque relatif : RR = 1,09 (augmentation de 9%)
  - Intervalle de confiance : IC 95% : 1,06 - 1,12
  - Proportion attribuable : 8,3%
- **Interprétation pour les décideurs :** "Dans les zones à fort trafic de zémidjans, environ 8% des problèmes respiratoires pourraient être liés à cette pollution supplémentaire."

### Exemple 2 : Projet de transport en commun

- **Scénario :** Remplacement de 30% des trajets en véhicules individuels par des bus modernes
- **Données estimées :**
  - **Réduction PM<sub>2,5</sub> :** de 35 à 28 µg/m<sup>3</sup>
  - **Population concernée :** 500 000 habitants
  - **Mortalité de base :** 900/100 000
- **Calculs :**
  - RR actuel = 1,20
  - RR après projet = 1,16
  - Réduction de la PA : de 16,7% à 13,8%
  - Décès évités : environ 130 par an

### Exemple 3 : Harmattan et pollution

- **Particularité saisonnière :**
  - **Période normale :** PM<sub>10</sub> = 40 µg/m<sup>3</sup>
  - **Période Harmattan :** PM<sub>10</sub> = 150 µg/m<sup>3</sup>
- **Impact sanitaire :**
  - Augmentation temporaire du RR
  - Nécessité de mesures spécifiques
  - Communication adaptée au public

## V. Quiz de compréhension

### Question 1

Un RR de 1,0 signifie :

- a. Aucun risque
- b. Risque doublé
- c. Pas de différence entre les groupes
- d. Risque réduit de moitié

### Question 2

Un IC 95% de [0,98 - 1,15] indique :

- a. L'effet est certain
- b. L'effet pourrait être nul
- c. Le risque est doublé
- d. L'étude est mauvaise

### Question 3

Une PA de 25% signifie :

- a. 25% de la population est malade
- b. Le risque augmente de 25%
- c. 25% des cas sont dus à l'exposition
- d. 25% de réduction possible

### Question 4

Pour calculer le nombre de cas évitables, il faut :

- a. Seulement le RR
- b. Seulement la PA
- c. La PA et le nombre total de cas
- d. Uniquement la concentration de polluant

### Question 5 - Application

- **Données :**
  - Hospitalisations respiratoires : 1000/an
  - RR lié aux PM<sub>2,5</sub> = 1,20
  - Réduction prévue des PM<sub>2,5</sub> : 40%

- Combien d'hospitalisations pourraient être évitées ?
  - Solution :
1.  $PA \text{ actuelle} = (1,20-1)/1,20 = 16,7\%$
  2. Hospitalisations attribuables =  $1000 \times 0,167 = 167$
  3. Réduction de 40% =  $167 \times 0,40 = 67$  hospitalisations évitées

## Messages clés du chapitre

### 1. Risque Relatif (RR)

- Compare le risque entre exposés et non-exposés
- $RR > 1$  = augmentation du risque
- S'exprime en pourcentage d'augmentation

### 2. Intervalle de Confiance (IC 95%)

- Indique l'incertitude de l'estimation
- Plus l'intervalle est étroit, plus on est certain
- Toujours présenter avec le RR

### 3. Proportion Attribuable (PA)

- Part du problème due à l'exposition
- Permet de calculer les cas évitables
- Base pour l'évaluation des politiques

### 4. Application pratique

- Ces concepts permettent de quantifier l'impact
- Essentiels pour justifier les investissements
- Aident à prioriser les actions







## CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION D'AirQ+



## I. Qu'est-ce qu'AirQ+ ?

### A. Un outil stratégique pour la prise de décision

Dans un contexte où les investissements en infrastructure de transport représentent des engagements financiers majeurs pour les États africains, la capacité à démontrer les co-bénéfices sanitaires devient un avantage concurrentiel décisif. AirQ+ répond précisément à ce besoin en offrant une méthodologie robuste et reconnue internationalement pour quantifier les impacts sanitaires des projets de mobilité.

Le logiciel, développé par l'Organisation Mondiale de la Santé, transforme des données complexes en indicateurs décisionnels clairs. Cette approche evidence-based constitue aujourd'hui une exigence incontournable des bailleurs de fonds internationaux et s'aligne parfaitement avec les objectifs de développement durable.

### B. Proposition de valeur

L'intérêt d'AirQ+ ne réside pas uniquement dans ses capacités techniques, mais surtout dans la manière dont il répond aux besoins spécifiques de chaque acteur impliqué dans la lutte contre la pollution atmosphérique. Ainsi :

- Pour les décideurs politiques, AirQ+ permet de transformer l'incertitude en opportunité. Plutôt que de naviguer à vue dans l'allocation des ressources limitées, les responsables disposent d'un tableau de bord quantifié des bénéfices sanitaires. Cette approche data-driven renforce la crédibilité des choix politiques et facilite l'arbitrage entre options concurrentes.
- Pour les bailleurs de fonds, l'outil apporte une méthodologie standardisée, assurant la comparabilité des projets à l'échelle internationale. Les institutions financières peuvent ainsi évaluer objectivement le retour sur investissement social des projets qu'elles financent, au-delà des seuls critères économiques traditionnels.
- Pour les équipes techniques, l'interface intuitive démocratise l'accès à des analyses sophistiquées. Les professionnels du transport, sans formation épidémiologique poussée, peuvent produire des évaluations conformes aux standards internationaux, renforçant ainsi leur capacité d'influence dans les processus décisionnels.

### C. Architecture fonctionnelle

Le logiciel s'articule autour de trois piliers analytiques complémentaires, chacun répondant à des besoins décisionnels spécifiques dans le cycle de vie des projets de mobilité durable.

## II. Les trois modules principaux

### A. Module 1 : Évaluation d'impact - L'outil du stratège

#### 1. Positionnement stratégique

Ce module constitue le cœur de l'approche prospective. Il permet aux décideurs d'anticiper et de quantifier les retombées sanitaires de leurs choix d'investissement avant même la mise en œuvre. Cette capacité d'anticipation représente un avantage déterminant dans un environnement où les ressources sont contraintes et les attentes élevées.

#### 2. Application au framework EASI (Enable-Avoid-Shift-Improve)

Le module s'intègre naturellement dans chaque dimension du framework :

- **ENABLE - Créer les conditions favorables** : L'outil permet d'objectiver les retombées d'initiatives structurantes, telles que l'instauration de zones piétonnes, l'investissement dans les infrastructures cyclables ou encore la mise en place de réglementations plus strictes sur les émissions des véhicules. Ces analyses transforment des intentions politiques en résultats tangibles mesurés sur la santé publique.
- **AVOID - Réduire les besoins de déplacement** : AirQ+ met en évidence les bénéfices sanitaires liés à une meilleure organisation urbaine. La densification raisonnée des villes, la mixité fonctionnelle des quartiers ou encore les politiques de télétravail se traduisent par des réductions mesurables des niveaux de pollution et, par conséquent, des risques sanitaires.
- **SHIFT - Reporter vers des modes durables** : L'outil permet de comparer différents scénarios de report modal et d'en quantifier les impacts. Qu'il s'agisse de l'implantation d'un réseau de bus à haut niveau de service (BRT) ou de l'électrification progressive des taxis collectifs, chaque option peut être évaluée en termes de gains pour la santé publique.
- **IMPROVE - Améliorer l'efficacité** : AirQ+ aide à mesurer l'impact des efforts visant à moderniser le parc roulant ou à renforcer les normes d'importation. Le renouvellement des flottes de véhicules, l'application progressive des standards Euro ou encore l'introduction de technologies plus propres peuvent être traduits en bénéfices sanitaires concrets.

## **B. Module 2 : Charge de morbidité - Le diagnostic stratégique**

### **1. Création de la baseline**

Avant toute intervention, la compréhension fine de la situation initiale constitue un prérequis fondamental. Ce module permet d'établir un diagnostic exhaustif du fardeau sanitaire actuel, créant ainsi la référence indispensable pour mesurer les progrès futurs.

### **2. Intelligence territoriale**

L'analyse de la charge de morbidité révèle les disparités spatiales et sociales de l'exposition. Cette cartographie des vulnérabilités oriente naturellement la priorisation des investissements vers les zones où l'impact sera maximisé. Dans le contexte togolais, cette approche permet d'identifier les corridors critiques où la convergence entre densité de population et niveau de pollution justifie une intervention prioritaire.

### **3. Benchmark et positionnement**

La standardisation méthodologique permet une comparaison directe avec d'autres métropoles africaines. Cette mise en perspective éclaire les marges de progression réalistes et inspire l'adaptation de bonnes pratiques éprouvées dans des contextes similaires.

## **C. Module 3 : Analyse de risque - L'anticipation des enjeux émergents**

### **1. Gestion proactive des risques**

Au-delà des impacts immédiats, ce module projette les conséquences à long terme de l'exposition chronique. Cette vision prospective devient cruciale dans un contexte de croissance urbaine rapide où les décisions d'aujourd'hui déterminent la santé publique des décennies à venir.

### **2. Focus sur les enjeux spécifiques**

L'analyse se concentre sur les polluants cancérigènes, notamment les particules diesel omniprésentes dans les contextes urbains africains. Cette approche ciblée permet d'anticiper les coûts sanitaires futurs et de justifier des investissements préventifs aujourd'hui.

## III. Avantages compétitifs et considérations opérationnelles

### A. Création de valeur

Avant d'entrer dans les aspects techniques, il est essentiel de comprendre la valeur stratégique qu'AirQ+ peut apporter aux institutions et à leurs partenaires. L'outil ne se limite pas à une fonction de calcul : il constitue un levier de crédibilité, d'efficacité et d'agilité décisionnelle, autant d'éléments déterminants dans un contexte où la qualité des choix influence directement la réussite des politiques publiques.

**1. Crédibilité institutionnelle** : L'estampille OMS confère une légitimité internationale aux analyses produites. Cette caution scientifique facilite le dialogue avec les partenaires techniques et financiers, réduisant les frictions dans les processus d'approbation.

**2. Efficacité opérationnelle** : La courbe d'apprentissage optimisée permet une montée en compétence rapide des équipes. Le retour sur investissement en formation se matérialise dès les premières analyses, avec un gain de productivité significatif par rapport aux méthodes traditionnelles.

**3. Agilité décisionnelle** : La capacité à tester rapidement différents scénarios accélère les cycles de décision. Cette agilité devient un atout majeur dans un environnement politique où les fenêtres d'opportunité sont souvent étroites.

### B. Gestion des contraintes

L'utilisation d'AirQ+ suppose de composer avec certaines limites structurelles. Ces contraintes, qu'elles concernent la qualité des données, la contextualisation scientifique ou le périmètre d'analyse, doivent être prises en compte dès le départ. Correctement gérées, elles deviennent non pas des freins, mais des catalyseurs pour renforcer la robustesse des politiques publiques et des systèmes de connaissance.

- **Qualité des intrants** : La fiabilité des outputs dépend directement de la qualité des données d'entrée. Cette dépendance nécessite un investissement parallèle dans les systèmes de collecte et de gestion des données. Cependant, cette contrainte peut être transformée en opportunité en catalysant la modernisation des systèmes d'information.
- **Contextualisation nécessaire** : Les fonctions de risque, principalement dérivées d'études occidentales, requièrent une interprétation prudente. Cette limitation appelle au développement progressif d'études épidémiologiques locales, créant ainsi une opportunité de renforcement des capacités de recherche nationales.



- **Périmètre d'analyse** : L'outil se concentre sur les impacts sanitaires directs, excluant les co-bénéfices économiques et sociaux plus larges. Cette focalisation, tout en garantissant la rigueur méthodologique, nécessite une intégration dans un framework d'évaluation plus global.

## IV. Cas d'usage stratégiques pour le Programme Mobilité Verte

### A. Niveau programmatique

#### 1. Optimisation du portefeuille de projets

Le Programme Mobilité Verte comprend un pipeline diversifié d'interventions. AirQ+ permet d'établir une hiérarchisation objective basée sur le rapport coût-efficacité sanitaire. Cette approche portfolio transforme une liste de projets en stratégie cohérente.

Cas pratique : Arbitrage entre options d'investissement

- **Situation** : Budget de 50 milliards FCFA à allouer
- **Option A** : Extension du réseau de transport en commun
- **Option B** : Programme de renouvellement de flotte
- **Option C** : Infrastructure cyclable et piétonne

L'analyse AirQ+ révèle que l'option A génère 3x plus de bénéfices sanitaires par franc investi, orientant ainsi l'allocation optimale des ressources.

#### 2. Structuration des financements climatiques

Les mécanismes de finance climat exigent une quantification rigoureuse des co-bénéfices. AirQ+ fournit les métriques nécessaires pour accéder aux financements verts, transformant les projets de transport en opportunités de financement innovant.

### B. Niveau territorial

#### 1. Priorisation spatiale des interventions

##### a. Analyse différenciée Lomé : Villes secondaires

La concentration démographique à Lomé ne doit pas occulter les enjeux spécifiques des villes secondaires. AirQ+ permet une analyse comparative révélant parfois des ratios bénéfice/population plus favorables dans les centres urbains secondaires, justifiant une approche territoriale équilibrée.



Corridors critiques : L'identification des axes où convergent forte exposition et population vulnérable guide l'implantation optimale des infrastructures. Cette approche hot-spot maximise l'impact des investissements limités.

## 2. Gestion adaptative des interventions

### a. Monitoring de performance

Au-delà de l'évaluation ex-ante, AirQ+ permet un suivi continu de l'efficacité des mesures. Cette boucle de rétroaction enable l'ajustement en temps réel des politiques, garantissant l'atteinte des objectifs sanitaires.

## C. Niveau sectoriel

### 1. Transformation du secteur informel

#### Cas des zémidjans : de la contrainte à l'opportunité

Le secteur représente une source majeure d'émissions mais aussi d'emplois. AirQ+ permet de modéliser des scénarios de transition progressive :

- **Phase 1** : Formation à l'éco-conduite (impact : -15% émissions)
- **Phase 2** : Incitations au remplacement des 2-temps (impact : -40%)
- **Phase 3** : Électrification progressive (impact : -80%)

Cette approche séquencée, appuyée par des données quantifiées, facilite le dialogue social et sécurise la transition.

### 2. Innovation dans les modèles d'affaires

Partenariats public-privé basés sur la performance

Les métriques AirQ+ peuvent être intégrées dans les contrats de concession, liant la rémunération des opérateurs aux bénéfices sanitaires générés. Cette innovation contractuelle aligne les intérêts privés et publics.

## D. Framework d'intégration EASI

L'intégration d'AirQ+ au sein du framework Enable–Avoid–Shift–Improve (EASI) permet de traduire les stratégies de mobilité durable en résultats sanitaires tangibles. La matrice décisionnelle ci-dessous illustre comment chaque levier peut être évalué à travers des métriques précises et des indicateurs de succès mesurables :

## Matrice décisionnelle intégrée

Dimension EASI	Intervention type	Métrique AirQ+	Indicateur de succès
<b>ENABLE</b>	Réglementation émissions	PM2.5 moyennes	Décès évités/an
<b>AVOID</b>	Densification urbaine	Km parcourus	Hospitalisations évitées
<b>SHIFT</b>	Développement TC	Part modale	DALY gagnés
<b>IMPROVE</b>	Renouvellement flotte	Facteurs émission	Coût/bénéfice sanitaire

Cette matrice guide l'allocation optimale des efforts selon les quatre leviers, garantissant une approche systémique de la mobilité durable.

## Points clés du chapitre

- 1. Positionnement stratégique** : AirQ+ transcende l'outil technique pour devenir un instrument de gouvernance. Son adoption signale une maturité institutionnelle et une approche evidence-based de la décision publique.
- 2. Intégration systémique** : L'alignement avec le framework EASI garantit que chaque analyse contribue à une vision cohérente de la mobilité durable, évitant les approches fragmentées.
- 3. Catalyseur de transformation** : Au-delà des chiffres, AirQ+ catalyse un changement culturel vers une prise de décision basée sur les données, renforçant la capacité institutionnelle du pays.
- 4. Levier de financement** : La capacité à quantifier les co-bénéfices ouvre l'accès aux financements climatiques internationaux, transformant les contraintes sanitaires en opportunités financières.
- 5. Outil de dialogue** : En créant un langage commun entre santé et transport, AirQ+ facilite la collaboration intersectorielle, condition sine qua non de la réussite des politiques intégrées.



## CHAPITRE 5 : INSTALLATION ET CONFIGURATION



## I. Configuration requise

### A. Analyse des besoins techniques

La mise en œuvre réussie d'AirQ+ repose sur une infrastructure technique adaptée. Cette section détaille les spécifications minimales et optimales, permettant aux organisations d'anticiper les investissements nécessaires et d'optimiser leur environnement de travail.

### B. Spécifications matérielles

L'utilisation d'AirQ+ dans le contexte togolais doit prendre en compte la réalité des infrastructures informatiques, souvent marquées par des ressources limitées au sein des administrations publiques. L'outil a été pensé pour rester accessible, même sur des équipements modestes, tout en permettant une montée en puissance lorsque les conditions le permettent.

#### 1. Configuration minimale : Approche pragmatique

Dans le contexte des administrations publiques togolaises, où les moyens informatiques demeurent souvent limités, AirQ+ a été conçu pour fonctionner sur des équipements modestes. Un processeur dual-core de 1,6 GHz, comparable à un Intel Core i3 de troisième génération, associé à 4 Go de mémoire vive, suffit pour exécuter l'outil. L'espace disque requis reste limité à environ 500 Mo, ce qui le rend compatible avec des ordinateurs de capacité moyenne. Une résolution d'écran de 1366 x 768 pixels assure une lisibilité correcte, tandis que la compatibilité avec Windows 7 SP1 (64 bits) élargit encore son champ d'utilisation aux machines existantes dans l'administration.

#### 2. Configuration recommandée : Performance optimale

Pour les équipes techniques appelées à traiter plusieurs projets simultanément ou à conduire des analyses complexes, il est conseillé d'opter pour une configuration plus robuste. Un processeur quad-core cadencé à 2,4 GHz, tel qu'un Intel Core i5 de 8<sup>e</sup> génération ou supérieur, associé à un minimum de 8 Go de mémoire vive, garantit une exécution fluide. L'espace disque recommandé est de 2 Go afin de permettre la sauvegarde régulière des résultats et des bases de données. Enfin, une résolution Full HD (1920 x 1080 pixels) et l'utilisation de Windows 10 ou 11 en version professionnelle 64 bits offrent un confort de travail supérieur et renforcent la stabilité des opérations.

## C. Prérequis logiciels

### 1. Java Runtime Environment - Composant critique

Le fonctionnement d'AirQ+ repose sur Java, un environnement d'exécution qui constitue le socle technique de l'outil. Cette dépendance peut sembler purement informatique, mais elle présente un double avantage : la portabilité, qui permet à AirQ+ de fonctionner sur différents systèmes, et la stabilité, garante de la fiabilité des calculs. La version minimale requise est Java 8 Update 251 ou toute version ultérieure, disponible directement sur le site officiel ([www.java.com](http://www.java.com)). L'installation reste légère, avec un téléchargement d'environ 70 MB, ce qui facilite son déploiement même sur des machines disposant d'une bande passante limitée.

### 2. Logiciels complémentaires recommandés

Pour optimiser le flux de travail et tirer pleinement parti d'AirQ+, certains logiciels complémentaires sont fortement recommandés. Microsoft Excel 2010 ou une version plus récente permet de préparer les données d'entrée, d'explorer les résultats et de réaliser des analyses approfondies. Adobe Reader DC facilite la consultation des manuels et rapports générés, en garantissant une lecture fluide et accessible des documents techniques. Enfin, 7-Zip constitue un outil pratique pour la décompression des fichiers d'installation, particulièrement utile dans des environnements où la gestion des archives est fréquente.

## D. Considérations réseau et sécurité

### 1. Fonctionnement hors ligne

Un atout stratégique d'AirQ+ réside dans sa capacité à fonctionner entièrement hors ligne une fois installé. Cette autonomie réduit la dépendance à la connectivité internet, un avantage décisif dans les contextes où la couverture réseau demeure inégale. Elle garantit également la confidentialité des données sensibles, qui restent confinées dans l'environnement de travail local, sans risque de fuite vers des serveurs externes. Enfin, cette caractéristique renforce la résilience opérationnelle : même en cas de coupure internet, les équipes peuvent poursuivre leurs analyses sans interruption.

### 2. Politique de sécurité informatique

L'intégration d'AirQ+ dans un environnement institutionnel soumis à des règles IT strictes ne présente pas de difficultés majeures. Les droits administrateurs ne sont nécessaires qu'au moment de l'installation, ce qui limite les contraintes d'accès. L'outil n'exige aucune configuration particulière du pare-feu, ce qui simplifie son déploiement. En revanche, certains antivirus peuvent signaler le dossier d'installation, et il peut être nécessaire d'ajouter une exception afin d'éviter tout blocage. Enfin, AirQ+ est parfaitement compatible avec des disques chiffrés via des solutions comme BitLocker, assurant ainsi une conformité totale aux standards de sécurité des données.

## II. Installation pas à pas avec captures d'écran

### A. Phase préparatoire - Minimiser les risques

- **Étape 0 : Audit de l'environnement**

Avant toute installation, une vérification systématique prévient les complications :

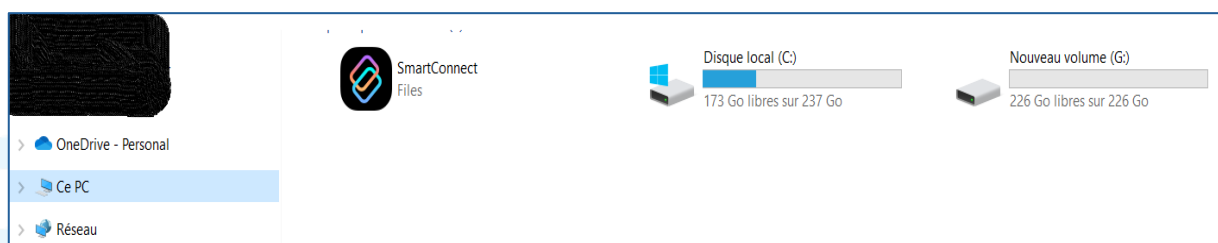
#### 1. Vérifier la version Windows

- Clic droit sur "Ce PC" → Propriétés
- Noter la version et l'architecture (32 ou 64 bits)



#### 2. Contrôler l'espace disque

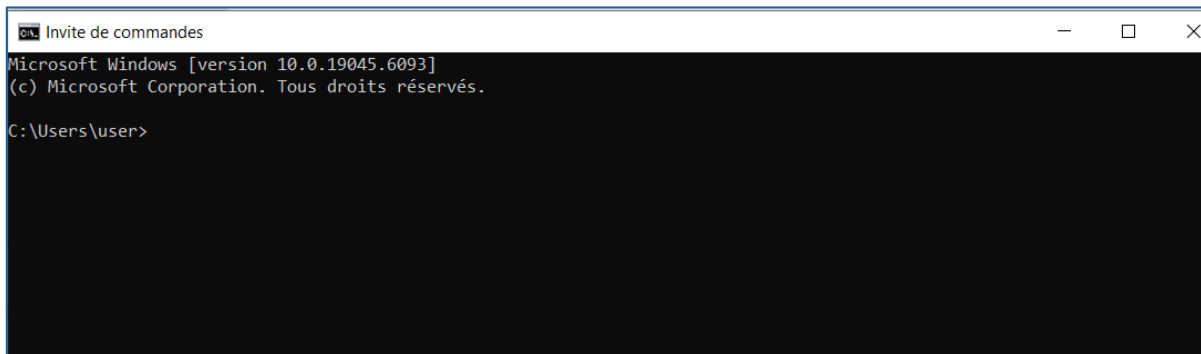
- Ouvrir l'Explorateur Windows
- Vérifier l'espace libre sur C:
- Minimum requis : 1 GB libre





### 3. Statut Java

- Ouvrir l'invite de commande (cmd)



- Taper : java -version
- Si erreur → Installation Java nécessaire

## B. Installation de Java - Fondation technique

- **Étape 1 : Téléchargement sécurisé**

Navigation vers [www.java.com](http://www.java.com) :

- Cliquer sur "Téléchargement gratuit de Java"
- Sélectionner "Windows Hors ligne (64 bits)"
- Sauvegarder dans un dossier dédié

**Point de vigilance** : Éviter les sites tiers proposant Java. Le téléchargement depuis le site officiel garantit l'authenticité et la sécurité.

- **Étape 2 : Installation guidée**

Exécution du programme d'installation :

4. Écran de bienvenue : Cliquer "Installer"
5. Progression : Patienter (~2 minutes)
6. Confirmation : "Java a été installé avec succès"
7. Vérification : Retester java -version dans cmd

## C. Installation d'AirQ+ - Processus principal

- **Étape 3 : Acquisition du logiciel**

- Accès aux ressources OMS :

1. Naviguer vers : [www.euro.who.int/airq](http://www.euro.who.int/airq)
2. Section "Downloads"
3. Sélectionner "AirQ+ v4.0 for Windows"

### AirQ+: software tool for health risk assessment of air pollution

Quantifying the effects of exposure to air pollution in terms of public health has become a critical component in policy discussion. WHO/Europe's software tool AirQ+ performs calculations that allow quantification of the health effects of exposure to air pollution, including estimates of the reduction in life expectancy, for the most significant air pollutants. AirQ+ is available in English, French, German, Russian and Spanish.

AirQ+ estimates:

- the effects of short-term changes in air pollution (based on risk estimates from time-series studies);
- the effects of long-term exposures (using life-tables approach and based on risk estimates from cohort studies).

For each type of estimate, separate HELP files explain details of calculation.

Methodology and scientific basis for the risk estimates are summarized in the documents listed below

#### Tool

[Download AirQ+ 2.2 software - Windows \(Zip file, 80 MB / EN, FR, DE and RU\)](#)

[Download AirQ+ 2.2 software - Linux \(Zip file, 80 MB / EN, FR, DE and RU\)](#)

[Download AirQ+ 2.2 software - Macintosh \(Zip file, 80 MB / EN, FR, DE and RU\)](#)

[AirQ+ \(Spanish\)](#)

4. Accepter les conditions d'utilisation

- **Structure du package télécharger :**

AirQ+\_v4.0.zip (85 MB)

|— dist/

|— resources/

|— testData/

|— AirQPlus.exe

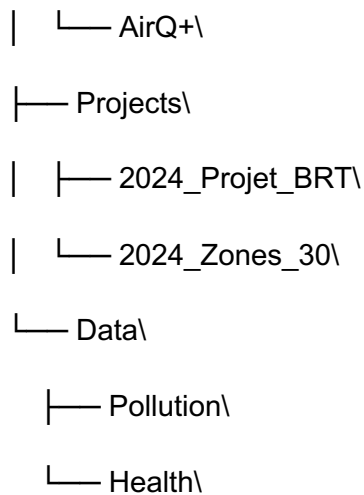
- **Étape 4 : Déploiement structuré**

Création de l'arborescence recommandée :

C:\

|— AirQ\_Workspace\

|— Software\



Cette structure facilite :

- Organisation des projets multiples
- Sauvegarde ciblée
- Collaboration en équipe
- **Étape 5 : Extraction et configuration**

### 1. Extraction :

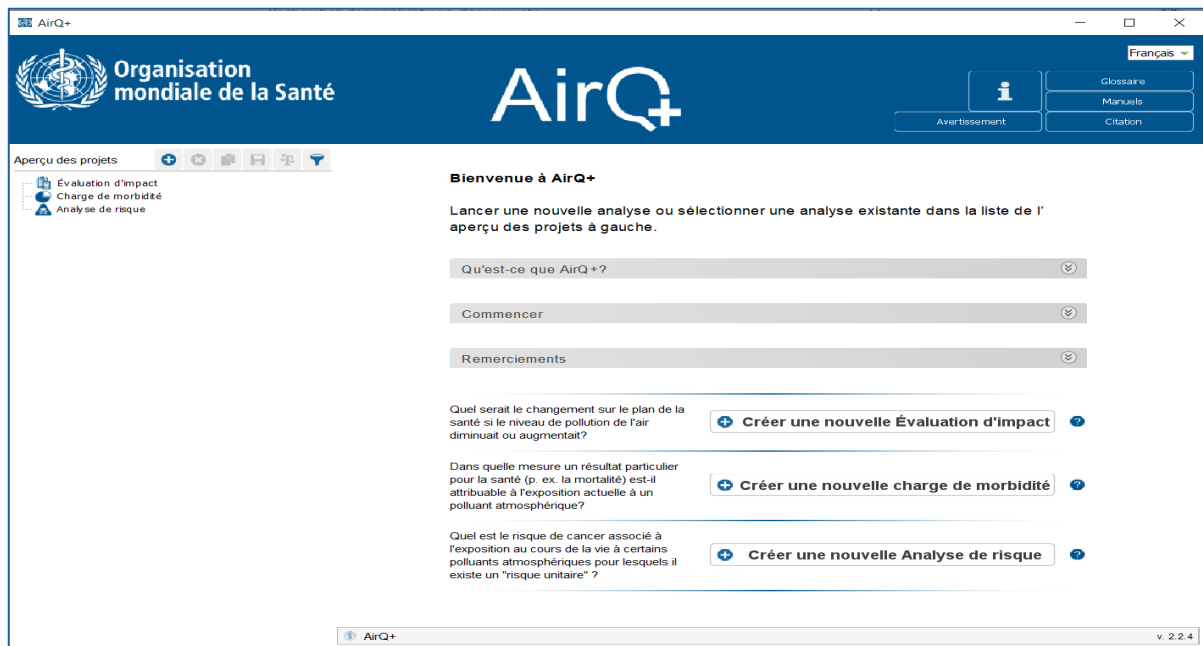
- Clic droit sur AirQ+\_v4.0.zip
- "Extraire tout" vers C:\AirQ\_Workspace\Software\AirQ+

### 2. Création du raccourci :

- Naviguer vers le dossier extrait
- Clic droit sur AirQPlus.exe
- "Envoyer vers" → "Bureau"

### 3. Configuration initiale :

- Double-clic sur le raccourci
- Sélection de la langue : "Français"
- Acceptation des termes

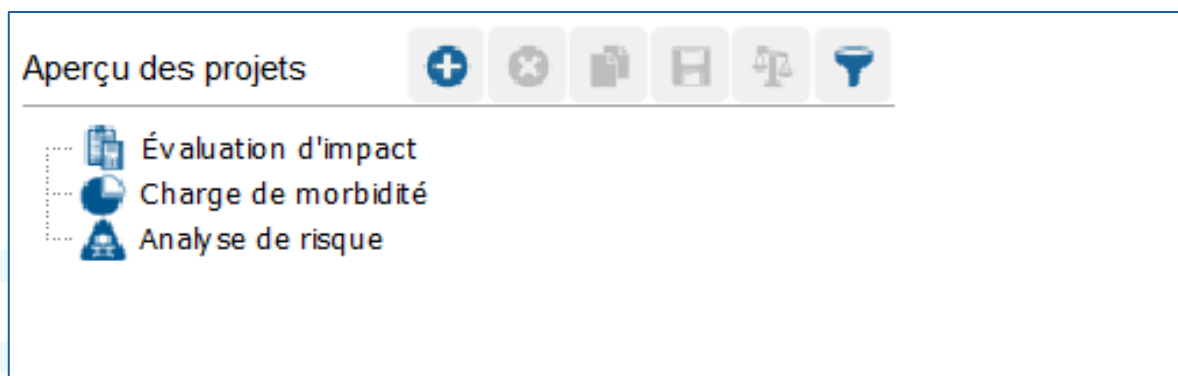


### III. Premier démarrage

#### A. Interface d'accueil - Centre de commande

Au lancement, AirQ+ présente une interface structurée en zones fonctionnelles :

- **Zone 1 : Arborescence des projets (gauche)**
  - Organisation hiérarchique des analyses
  - Navigation intuitive entre projets
  - Indicateurs visuels d'état



- **Zone 2 : Espace de travail (centre)**

- Formulaires de saisie contextuels
- Visualisation des données
- Résultats et graphiques

## Bienvenue à AirQ+

Lancer une nouvelle analyse ou sélectionner une analyse existante dans la liste de l'aperçu des projets à gauche.

Qu'est-ce que AirQ+?



Commencer



Remerciements



Quel serait le changement sur le plan de la santé si le niveau de pollution de l'air diminuait ou augmentait?

**+ Créer une nouvelle Évaluation d'impact**



Dans quelle mesure un résultat particulier pour la santé (p. ex. la mortalité) est-il attribuable à l'exposition actuelle à un polluant atmosphérique?

**+ Créer une nouvelle charge de morbidité**



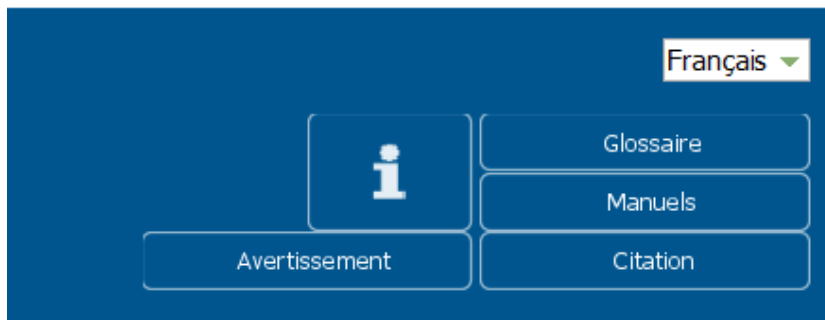
Quel est le risque de cancer associé à l'exposition au cours de la vie à certains polluants atmosphériques pour lesquels il existe un "risque unitaire" ?

**+ Créer une nouvelle Analyse de risque**



- **Zone 3 : Barre d'outils (haut)**

- Actions principales
- Accès aux manuels
- Configuration



## B. Configuration initiale optimale

Personnalisation de l'environnement

### 1. Paramètres régionaux

- Menu "Outils" → "Options"
- Format de date : JJ/MM/AAAA
- Séparateur décimal : virgule (contexte francophone)
- Unités : Système métrique

### 2. Répertoires de travail

- Définir le dossier par défaut des projets
- Configurer les chemins de sauvegarde automatique
- Établir la fréquence de backup (recommandé : 10 minutes)





## C. Test de validation fonctionnelle

- Création d'un projet test

Pour valider l'installation complète :

### 1. Nouveau projet


- Cliquer "Créer une nouvelle Évaluation d'Impact"
- Nom : "TEST\_Installation\_2024"
- Type : "Ambiante"
- Polluant : "PM2.5"

### 2. Données minimales

- Population : 100000
- Concentration : 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Mortalité : 800/100000

### 3. Exécution

- Bouton "Calculer"
- Vérifier l'apparition des résultats
- Sauvegarder le projet

				 Calculer
Résultats (dernier calcul 2025-08-15 15:20:43)				
	Central	Inférieur	Supérieur	
Estimation de la part attribuables	14,27 %	11 %	15,83 %	^
Estimation du nombre de cas attribuables	114	88	127	
Estimation du nombre de cas attribuables pour 100 000 personnes à risque.	114,13	88,00	126,66	v

- **Critères de succès :**
  - Calcul complété sans erreur
  - Graphiques générés correctement
  - Sauvegarde fonctionnelle
  - Export PDF opérationnel

## IV. Résolution des problèmes courants

### A. Matrice de diagnostic rapide

L'expérience de terrain montre qu'une grande partie des difficultés rencontrées par les équipes techniques ne provient pas d'AirQ+ lui-même, mais de son environnement logiciel ou matériel. Pour éviter que ces problèmes ne deviennent des freins à l'analyse, une matrice de diagnostic rapide a été élaborée. Elle permet d'identifier en quelques instants la cause probable d'un dysfonctionnement, de mettre en œuvre la solution la plus appropriée, puis d'adopter une mesure de prévention pour réduire la récurrence du problème.

Symptôme	Cause probable	Solution	Prévention
AirQ+ ne démarre pas	Java absent/obsolète	Réinstaller Java 8+	Vérification trimestrielle
Écran blanc au lancement	Conflit antivirus	Ajouter exception	Liste blanche préventive
Calculs très lents	RAM insuffisante	Fermer autres applications	Upgrade matériel
Erreur de sauvegarde	Droits insuffisants	Exécuter en admin	Permissions dossier
Interface tronquée	Résolution inadaptée	Ajuster scaling Windows	Config minimale respectée

Cette matrice doit être considérée comme un réflexe de premier niveau, permettant de gagner du temps et d'éviter une immobilisation inutile de l'outil. Elle combine un triple avantage : une lecture intuitive, une mise en œuvre immédiate des solutions, et un rappel systématique des bonnes pratiques préventives.

### B. Procédures de dépannage avancé

- **Cas 1 : Conflits avec l'environnement d'entreprise**
  - Symptômes : Blocage par proxy, restrictions GPO
  - Diagnostic :
    1. Vérifier les logs Windows Event Viewer
    2. Tester en mode sans échec

### 3. Analyser les politiques de groupe actives

- **Solutions :**

- Demander exception IT pour le dossier AirQ+
- Installation sur poste dédié si nécessaire
- Version portable sur clé USB en dernier recours

- **Cas 2 : Performances dégradées**

- Analyse des bottlenecks :

- CPU : Gestionnaire des tâches → Performance
- RAM : Utilisation > 90% problématique
- Disque : Fragmentation excessive

- **Optimisations :**

1. Désactiver les effets visuels Windows
2. Augmenter la mémoire virtuelle
3. Défragmenter régulièrement
4. Limiter les projets ouverts simultanément

## C. Support et escalade

- **Niveau 1 : Auto-résolution**

- Consultation du manuel intégré (F1)
- FAQ officielle OMS
- Redémarrage système

- **Niveau 2 : Support communautaire**

- Forum utilisateurs AirQ+
- Groupe LinkedIn professionnel
- Webinaires mensuels OMS

- **Niveau 3 : Support officiel**

- Email : [euroceh@who.int](mailto:euroceh@who.int)
- Inclure : logs, captures d'écran, contexte
- Délai de réponse : 48-72h

## V. Test de bon fonctionnement

### A. Protocol de validation complet

- **Phase 1 : Tests fonctionnels de base**

#### 1. Module Évaluation d'Impact

- Créer analyse simple PM2.5
- Modifier les paramètres
- Générer rapport
- Exporter résultats

#### 2. Module Charge de Morbidité

- Importer données test
- Sélectionner fonctions IER
- Comparer avec valeurs attendues

#### 3. Module Analyse de Risque

- Configurer substance cancérigène
- Vérifier cohérence des unités
- Valider les calculs

- **Phase 2 : Tests d'intégration**

- **Workflow complet de production :**

1. Import données Excel
2. Configuration analyse multiple
3. Génération rapport consolidé
4. Export vers présentation

- **Benchmarks de performance :**

- Analyse simple : < 5 secondes
- Import 1000 lignes : < 10 secondes
- Génération PDF : < 15 secondes

## B. Check-list de mise en production

### 1. Validation technique

- Java installé et fonctionnel
- AirQ+ lance sans erreur
- Tous modules accessibles
- Sauvegarde automatique active
- Export PDF opérationnel

### 2. Validation métier

- Projet test complété
- Résultats cohérents obtenus
- Documentation accessible
- Utilisateurs formés
- Procédures backup établies

### 3. Validation organisationnelle

- Responsable technique désigné
- Processus de mise à jour défini
- Intégration workflow validée
- Métriques de suivi établies

### Points clés du chapitre

- 1. Préparation minutieuse = Installation réussie :** L'investissement en phase préparatoire (audit environnement, structure dossiers) génère des dividendes en termes de stabilité et maintenabilité à long terme.
- 2. Architecture robuste pour contexte contraint :** La conception d'AirQ+ pour fonctionner sur des configurations modestes et sans connexion internet le rend particulièrement adapté aux réalités opérationnelles africaines.
- 3. Approche systématique du dépannage :** La matrice de diagnostic et les procédures d'escalade structurées minimisent les temps d'arrêt et maximisent l'autonomie des équipes.
- 4. Validation par étapes :** Le protocole de test progressif garantit non seulement le fonctionnement technique mais aussi l'alignement avec les processus métier.
- 5. Vision long terme :** L'établissement dès l'installation de bonnes pratiques (structure dossiers, sauvegardes, documentation) facilite la montée en charge et la pérennisation de l'outil.



## CHAPITRE 6 : COLLECTE DES DONNÉES AU TOGO





## I. Sources de données disponibles

### A. Cartographie de l'écosystème data national

La transformation digitale du Togo, portée par l'ambition gouvernementale de modernisation, crée un contexte favorable à l'émergence progressive de systèmes de données structurés. Toutefois, l'évaluation rigoureuse de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique nécessite une approche pragmatique, capitalisant sur les sources existantes tout en développant des stratégies de contournement pour les lacunes identifiées.

### B. Architecture institutionnelle des données

#### 1. Niveau central - Ministères et agences

Le paysage institutionnel togolais présente une fragmentation des compétences en matière de données environnementales et sanitaires. Cette dispersion, caractéristique des administrations en transition, nécessite une approche collaborative transcendant les silos organisationnels :

- **Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières** : occupe un rôle clé dans la surveillance environnementale. Ses contributions restent toutefois limitées par l'absence d'un dispositif de monitoring continu de la qualité de l'air et par des équipements encore insuffisants. Néanmoins, ce ministère peut devenir un catalyseur de progrès grâce à des partenariats internationaux ciblés, ouvrant la voie à un renforcement durable des capacités techniques.
- **Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique** : dispose d'une base de données sanitaire riche, couvrant la mortalité et la morbidité hospitalière. Le déploiement progressif du système DHIS2 représente un atout considérable pour la collecte et la consolidation des informations. Toutefois, la granularité géographique reste inégale et les délais de traitement peuvent réduire l'agilité décisionnelle.
- **Ministère des Transports Routiers Aériens et Ferroviaires** : détient des informations essentielles sur le parc automobile et les immatriculations, permettant de caractériser les principales sources d'émission. Son défi majeur réside dans l'absence d'une base centralisée et systématisée des véhicules, ce qui limite pour l'instant la précision des inventaires d'émissions.
- **Institut National de la Statistique, des Études Économiques et Démographiques (INSEED)** : joue un rôle pivot dans la coordination et l'harmonisation des données. Fort de ses recensements et de ses enquêtes démographiques, il apporte une valeur ajoutée méthodologique importante, garantissant la robustesse et la comparabilité des analyses produites.

## C. Sources internationales et régionales

### 1. Exploitation stratégique des données satellites

En l'absence de réseau de monitoring terrestre, les données satellitaires représentent une alternative viable pour suivre la qualité de l'air au Togo. Elles offrent une couverture régulière et gratuite, mais nécessitent une calibration locale pour gagner en précision.

- **NASA MODIS/VIIRS** : assurent une couverture globale incluant le territoire togolais. Leur résolution temporelle quotidienne permet de suivre les variations de l'Aerosol Optical Depth (AOD), paramètre convertible en concentrations de PM<sub>2.5</sub>. Toutefois, pour garantir la fiabilité des estimations, une calibration locale reste indispensable.
- **Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)**: fournit un avantage stratégique supplémentaire. Ses modèles, validés pour l'Afrique de l'Ouest, donnent accès à une gamme plus large de polluants (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>), avec une résolution spatiale d'environ 11 km. Les données, accessibles gratuitement via API, permettent d'intégrer une granularité suffisante pour les besoins d'analyse nationaux et urbains.

Stratégie d'hybridation : La combinaison de sources multiples permet de construire une image cohérente malgré les limitations individuelles :

1. Données satellites pour tendances spatiales et temporelles
2. Mesures ponctuelles pour calibration
3. Modélisation pour interpolation

## D. Partenariats stratégiques

### 1. Organisations régionales

La WACAP (West Africa Clean Air Platform) joue un rôle clé dans l'harmonisation méthodologique à l'échelle sous-régionale. Grâce à ses protocoles standardisés et à ses programmes de formation, elle facilite l'échange d'expériences entre pays voisins et renforce la cohérence des approches.

### 2. Universités et centres de recherche

À l'échelle nationale, l'Université de Lomé, via son Laboratoire de Chimie Atmosphérique, constitue un partenaire scientifique stratégique. Elle dispose de capacités d'analyse ponctuelle et peut initier des études épidémiologiques pilotes. La formation des étudiants dans ce cadre représente un investissement direct dans l'émergence d'une nouvelle génération d'experts.

### 3. Coopération internationale

Les partenaires techniques et financiers, tels que l'AFD, la Banque mondiale ou la GIZ, intègrent de plus en plus des composantes données dans leurs projets. Au-delà du financement, leur contribution réside dans la mutualisation des efforts de collecte et dans le transfert de compétences, garantissant la durabilité des initiatives.

## II. Données de pollution atmosphérique

### A. Stratégie de caractérisation en contexte de données limitées

L'absence de réseau de surveillance continue impose une approche créative combinant mesures directes limitées, proxys et modélisation. Cette contrainte, loin d'être paralysante, stimule l'innovation méthodologique.

### B. Hiérarchisation des approches

La mise en place d'un système robuste d'évaluation de la qualité de l'air dans le secteur des transports passe par une hiérarchisation des approches, allant des mesures directes aux modèles prédictifs. Cette gradation permet d'équilibrer précision scientifique, faisabilité technique et contraintes budgétaires.

#### 1. Niveau 1 : Mesures directes opportunistes

La première étape repose sur des campagnes de mesure ciblées, menées sur des périodes courtes (2 à 4 semaines par site). L'usage de capteurs portables, comme les dispositifs Purple Air, rend ces campagnes accessibles même dans des contextes à ressources limitées. Les sites prioritaires incluent les carrefours à forte densité de circulation (Déckon, GTA), les zones résidentielles contrastées, ainsi que les abords des écoles et hôpitaux. Avec un coût modeste de 500 à 1000 USD par site, cette méthode offre un premier diagnostic opérationnel.

Pour assurer la comparabilité et la fiabilité des données, un protocole standardisé est recommandé : collecte en saison sèche (pic de pollution) et en saison humide (valeur de référence), fréquence horaire pour capter les variations journalières, et paramètres mesurés incluant PM2.5, PM10, température et humidité. La qualité est garantie par une co-location avec un capteur de référence et une maintenance hebdomadaire.

## 2. Niveau 2 : Exploitation des proxys

Lorsque les mesures directes ne peuvent être généralisées, des proxys fournissent des alternatives crédibles. Les données de trafic, par exemple, sont fortement corrélées aux concentrations de PM<sub>2.5</sub> et de NO<sub>2</sub>. Une artère principale dépassant 20 000 véhicules par jour est généralement associée à des niveaux de PM<sub>2.5</sub> entre 35 et 45 µg/m<sup>3</sup> et de NO<sub>2</sub> entre 40 et 60 µg/m<sup>3</sup>. À l'inverse, les zones résidentielles peu fréquentées (<5 000 véhicules/jour) enregistrent des niveaux nettement plus bas.

Catégorie de route	Trafic journalier	PM <sub>2.5</sub> estimé	NO <sub>2</sub> estimé
Artère principale	>20,000 véh/j	35-45 µg/m <sup>3</sup>	40-60 µg/m <sup>3</sup>
Route secondaire	5,000-20,000	25-35 µg/m <sup>3</sup>	25-40 µg/m <sup>3</sup>
Résidentielle	<5,000	15-25 µg/m <sup>3</sup>	15-25 µg/m <sup>3</sup>

La visibilité météorologique constitue un autre proxy pertinent. Aux aéroports, ces données permettent d'inférer des concentrations particulières : une visibilité inférieure à 5 km correspond souvent à un PM<sub>10</sub> supérieur à 150 µg/m<sup>3</sup>. Cette approche, bien que moins précise, est utile pour reconstruire des tendances historiques.

## 3. Niveau 3 : Modélisation pragmatique

Enfin, lorsque ni les mesures ni les proxys ne suffisent, la modélisation statistique devient un levier essentiel. Une approche simplifiée de type Land Use Regression peut être appliquée en mobilisant des variables facilement accessibles : distance aux routes principales (Google Maps), densité de population (INSEED), altitude (SRTM) et couverture végétale (indices NDVI issus de satellites).

L'équation type pour estimer les concentrations de PM<sub>2.5</sub> urbain repose sur une combinaison de ces facteurs :

$$PM_{2.5} = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{distance\_route})^{-1} + \beta_2 \times \text{densité\_pop} + \beta_3 \times \text{altitude} + \beta_4 \times \text{NDVI}$$

Ce modèle, bien que pragmatique, permet de générer des cartes d'exposition utiles à la planification et à l'évaluation des politiques de transport.

## C. Gestion de l'incertitude

L'incertitude est inhérente aux analyses menées avec AirQ+, en particulier dans les contextes où les données sont limitées. Plutôt que de fournir des valeurs ponctuelles trompeuses, il est préférable de présenter les résultats sous forme de fourchettes : une estimation centrale comme meilleure approximation, complétée par une borne inférieure (scénario optimiste, -30 %) et une borne supérieure (scénario pessimiste, +50 %).

Chaque résultat doit être accompagné d'une documentation transparente indiquant la méthodologie utilisée, les hypothèses retenues, le niveau de confiance (faible, moyen ou élevé) et les pistes d'amélioration. Cette rigueur méthodologique renforce la crédibilité des analyses et fournit aux décideurs une base plus robuste pour orienter leurs choix.

## III. 6.3 Données démographiques

### A. Architecture de l'information démographique

Les données démographiques constituent le dénominateur critique de toute évaluation d'impact sanitaire. Le Togo dispose d'un socle statistique solide avec le recensement général de la population, complété par des projections intercensitaires.

### B. Exploitation optimale du RGPH

#### 1. Recensement Général de la Population et de l'Habitat

Le RGPH constitue la source démographique de référence pour AirQ+. La dernière édition, réalisée en 2022, fournit des données préliminaires d'une granularité fine jusqu'au niveau du canton. Les variables clés comprennent l'âge, le sexe, la localisation et l'activité, permettant un calibrage robuste des scénarios d'exposition.

#### 2. Stratification pertinente pour AirQ+

La structuration des données par groupes d'âge est essentielle pour refléter les différences de vulnérabilité :

- **0-4 ans** : Vulnérabilité respiratoire maximale
- **5-14 ans** : Exposition scolaire
- **15-64 ans** : Population active exposée
- **65+ ans** : Comorbidités multiples

## C. Projections et estimations intercensitaires

### 1. Méthodologie de projection

L'Institut National de la Statistique, des Études Économiques et Démographiques (INSEE) s'appuie sur la méthode des composantes pour établir ses projections démographiques. Cette approche repose sur trois variables fondamentales : les taux de natalité, différenciés par région ; la mortalité, intégrant des disparités territoriales ; et enfin les flux migratoires internes, modélisés afin de refléter les dynamiques de mobilité entre zones rurales et urbaines. Cette méthodologie, largement reconnue au niveau international, assure la cohérence et la comparabilité des estimations produites.

### 2. Application pour zones infra-communales

Pour les besoins spécifiques d'AirQ+, il est souvent nécessaire de descendre à un niveau plus fin d'analyse, notamment celui des quartiers ou des zones infra-communales. Cette désagrégation repose sur une combinaison de données spatiales et de validations de terrain. L'approche par densité bâtie constitue un premier levier : l'utilisation d'images satellites haute résolution permet de comptabiliser les structures résidentielles, puis d'appliquer un ratio d'occupation moyen, ajusté selon la typologie de l'habitat.

Cependant, cette extrapolation doit être validée par des enquêtes rapides réalisées sur le terrain. Celles-ci s'appuient sur des échantillons représentatifs et sur la collaboration des chefs de quartier, garants de la précision et de l'acceptabilité des données. La triangulation entre sources satellites, recensements partiels et validations communautaires renforce la fiabilité des estimations, tout en permettant une meilleure prise en compte des spécificités locales.





## D. Caractérisation de l'exposition différenciée

La simple moyenne populationnelle masque d'importantes disparités d'exposition aux polluants atmosphériques. Dans le cadre d'AirQ+, il est donc essentiel de caractériser les profils de vulnérabilité en fonction des modes de vie et des environnements quotidiens. Cette approche affine considérablement l'évaluation des impacts sanitaires, en tenant compte des différences entre groupes sociaux.

### Matrice exposition-vulnérabilité

Groupe	Localisation journée	Exposition relative	Facteur vulnérabilité
Écoliers	École + trajets	Élevée (8h)	1.5
Travailleurs informels	Extérieur continu	Très élevée (12h)	1.2
Employés bureau	Intérieur climatisé	Faible (2h)	0.8
Femmes au foyer	Domicile + marché	Moyenne (6h)	1.0
Personnes âgées	Domicile principal	Moyenne (4h)	2.0

## IV. Données sanitaires

### A. Système d'information sanitaire national

Le Togo a engagé une modernisation ambitieuse de son système d'information sanitaire, créant des opportunités nouvelles pour l'analyse épidémiologique.

### B. DHIS2: Plateforme centrale

#### 1. District Health Information System 2

Le District Health Information System 2 (DHIS2) constitue aujourd'hui l'épine dorsale du système d'information sanitaire togolais. Déployée progressivement depuis 2019, cette plateforme couvre désormais les six régions sanitaires du pays. Elle centralise des données issues des consultations, des hospitalisations et des décès, permettant une vision consolidée de l'état de santé de la population. Sa périodicité est mensuelle, avec un délai moyen de consolidation d'environ 45 jours, ce qui représente un compromis entre réactivité et fiabilité.

## 2. Indicateurs pertinents pour AirQ+

Pour l'évaluation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique à l'aide d'AirQ+, plusieurs familles d'indicateurs extraits du DHIS2 se révèlent particulièrement utiles. Les maladies respiratoires constituent une priorité, incluant les infections respiratoires aiguës hautes (codes J00-J06), les infections respiratoires basses (J20-J22), ainsi que des pathologies chroniques comme l'asthme (J45-J46) ou la bronchopneumopathie chronique obstructive – BPCO (J44).

Du côté cardiovasculaire, l'hypertension artérielle (I10-I15), les cardiopathies ischémiques (I20-I25) et les accidents vasculaires cérébraux (I60-I69) représentent des indicateurs stratégiques, compte tenu de leur forte corrélation avec l'exposition prolongée aux particules fines. Enfin, les données de mortalité, toutes causes confondues ou, lorsque disponibles, par causes spécifiques, offrent une base indispensable pour estimer les pertes sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique.

En intégrant ces indicateurs, le DHIS2 s'impose comme un levier essentiel pour relier qualité de l'air et santé publique, et alimente directement la robustesse des simulations menées dans AirQ+.

## C. Défis et stratégies d'adaptation

### 1. Sous-déclaration structurelle

Au Togo, seuls 40 à 60 % des décès sont enregistrés. Cette lacune entraîne une sous-estimation systématique de la mortalité liée à la pollution.

### 2. Stratégies de correction

Pour compenser les biais de sous-déclaration, deux approches complémentaires s'imposent.

La première repose sur l'application de facteurs de correction régionaux, différenciés selon le milieu :  $\times 1,3$  en zone urbaine, où les systèmes d'enregistrement sont plus fiables, et  $\times 2,0$  en zone rurale, où la couverture reste limitée. Ces coefficients doivent être régulièrement validés par des enquêtes spécifiques de mortalité.

La seconde approche consiste en une triangulation multi-sources, combinant registres hospitaliers, données d'état civil des mairies et enquêtes communautaires. Croiser ces canaux permet de reconstituer une image plus complète et de fiabiliser les estimations utilisées par AirQ+.

### 3. Qualité variable du diagnostic

Les causes de décès sont souvent imprécises ("cause naturelle", "maladie")

### 4. Approche pragmatique

Dans un contexte où la qualité des données reste perfectible, il est essentiel d'adopter une stratégie progressive. L'accent doit être mis sur les grandes catégories pathologiques (respiratoires et cardiovasculaires) qui concentrent l'essentiel des impacts liés à la pollution atmosphérique. Les estimations peuvent s'appuyer sur des proportions régionales déjà validées, garantissant une cohérence minimale des analyses. Enfin, une amélioration continue est possible à travers des programmes de formation ciblés, permettant de renforcer la capacité des équipes sanitaires à produire des données plus fiables au fil du temps.

## D. Données complémentaires

En appui aux systèmes classiques de surveillance, plusieurs sources complémentaires peuvent enrichir les analyses. Les enquêtes populationnelles, telles que la MICS (Multiple Indicator Cluster Survey) et l'EDS (Enquête Démographique et de Santé), menées tous les trois à cinq ans, apportent des informations précieuses sur la prévalence des maladies chroniques et les facteurs de risque associés.

Parallèlement, certains registres spécialisés constituent une ressource sous-exploitée. Le programme national de lutte contre la tuberculose, par exemple, fournit des données fiables sur les cas confirmés, tandis que les programmes consacrés aux maladies non transmissibles centralisent des informations sur l'hypertension et le diabète. Ces registres ouvrent la voie à la mise en place de cohortes longitudinales, permettant de suivre l'évolution des patients et d'évaluer plus finement l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé.



## V. Fiche de collecte type

### A. Outil opérationnel standardisé

Cette fiche synthétise les besoins data pour une analyse AirQ+ complète, facilitant la collecte systématique et la traçabilité.

#### FICHE DE COLLECTE DONNÉES - PROJET AirQ+ TOGO

##### SECTION A : IDENTIFICATION

Projet : \_\_\_\_\_

Zone d'étude : \_\_\_\_\_

Responsable collecte : \_\_\_\_\_

Date début : \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_

Date fin : \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_

##### SECTION B : DONNÉES POLLUTION

###### • Mesures directes disponibles

- PM2.5 : \_\_\_\_  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (période : \_\_\_\_)
- PM10 : \_\_\_\_  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (période : \_\_\_\_)
- NO2 : \_\_\_\_  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (période : \_\_\_\_)
- Source : \_\_\_\_\_
- Méthode mesure : \_\_\_\_\_

###### • Données modélisées/satellites

- Source : ☐ CAMS ☐ NASA ☐ Autre : \_\_\_\_\_
- Résolution : \_\_\_\_ km
- Période couverte : \_\_\_\_\_

###### • Proxys utilisés

- Trafic routier : \_\_\_\_ véhicules/jour
- Visibilité : \_\_\_\_ km (moyenne)
- Distance source : \_\_\_\_ m

## SECTION C : DONNÉES POPULATION

- Population totale zone : \_\_\_\_\_
- **Répartition par âge :**
  - 0-4 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 5-14 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 15-29 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 30-44 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 45-59 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 60-74 ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)
  - 75+ ans : \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ %)

**Source :** ☐ RGPH 2022 ☐ Projection ☐ Estimation

**Année référence :** 20\_\_\_\_

## SECTION D : DONNÉES SANITAIRES

- Mortalité toutes causes : \_\_\_\_\_ / 100 000 hab
- Année : 20\_\_\_\_
- **Mortalité spécifique :**
  - Respiratoire : \_\_\_\_\_ / 100 000
  - Cardiovasculaire : \_\_\_\_\_ / 100 000
  - -Cancer poumon : \_\_\_\_\_ / 100 000
- **Morbidité (hospitalisations) :**
  - IRA : \_\_\_\_\_ / 100 000
  - Asthme : \_\_\_\_\_ / 100 000
  - Cardiovasculaire : \_\_\_\_\_ / 100 000

**Source :** ☐ DHIS2 ☐ Registres ☐ Estimation

**Facteur correction appliqué :** × \_\_\_\_\_

## SECTION E : MÉTADONNÉES

- **Niveau de confiance données :**
  - Pollution : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Élevé
  - Population : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Élevé
  - Santé : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Élevé

Principales incertitudes :

---



---

Recommandations amélioration :

---



---

## B. Guide d'utilisation de la fiche

### Principes directeurs

1. Exhaustivité progressive : Ne pas attendre la perfection. Une fiche partiellement remplie avec documentation des lacunes vaut mieux que l'inaction.
2. Traçabilité absolue : Chaque donnée doit être sourcée et datée. Les hypothèses et extrapolations doivent être explicites.
3. Révision itérative : La fiche évolue avec l'amélioration des données. Maintenir un historique des versions.
4. Collaboration transversale : La collecte implique multiples acteurs. La fiche facilite la coordination et évite les duplications.



## Points clés du chapitre

1. **Pragmatisme créatif face aux contraintes data** : L'absence de système de monitoring parfait n'est pas bloquante. La combinaison innovante de sources diverses permet des estimations suffisamment robustes pour l'action.
2. **Investissement dans les partenariats** : La fragmentation institutionnelle se transforme en opportunité de collaboration. Les synergies créées dépassent la simple collecte de données.
3. **Transparence sur l'incertitude** : Documenter explicitement les limites renforce paradoxalement la crédibilité. Les décideurs apprécient l'honnêteté intellectuelle.
4. **Vision long terme intégrée** : Chaque collecte contribue à construire progressivement un système national robuste. L'approche incrémentale garantit la durabilité.
5. **Outil de collecte standardisé** : La fiche type proposée opérationnalise les concepts, transformant la théorie en pratique terrain immédiate.







## CHAPITRE 7 : PREMIÈRE ANALYSE - CAS PRATIQUE LOMÉ



## I. Contexte : amélioration du transport public à Lomé

### A. Diagnostic stratégique de la mobilité urbaine

Lomé, métropole de plus de 2 188 376 d'habitants, selon l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED), cristallise les défis de mobilité caractéristiques des capitales ouest-africaines en croissance rapide. L'étalement urbain non maîtrisé, couplé à une motorisation anarchique, génère une crise de mobilité aux implications sanitaires majeures. Cette première analyse AirQ+ s'inscrit dans l'évaluation ex-ante d'un projet structurant : la création d'un système de Bus Rapid Transit (BRT) sur l'axe Est-Ouest de la capitale.

### B. Le projet BRT Lomé : Vision transformationnelle

#### 1. Architecture du projet

Le futur corridor BRT reliera l'aéroport, le centre-ville et le port sur une distance de 22 kilomètres. L'axe sera structuré autour de 35 stations équipées de quais surélevés, facilitant l'accessibilité pour tous les usagers. La desserte sera assurée par une flotte de 150 bus articulés Euro V, conçus pour répondre aux standards environnementaux internationaux. En heure de pointe, la fréquence atteindra un bus toutes les trois minutes, permettant d'absorber jusqu'à 250 000 passagers par jour.

#### 2. Impacts attendus sur la mobilité

L'introduction du BRT transformera en profondeur les habitudes de déplacement à Lomé. Les estimations prévoient un report modal de 30 % des automobilistes vers ce mode de transport collectif, ainsi qu'une réduction de 40 % de l'usage des zémidjans le long du corridor. La vitesse commerciale, actuellement limitée à 12 km/h, pourrait doubler pour atteindre 25 km/h, réduisant considérablement les temps de trajet. À l'échelle urbaine, la congestion devrait diminuer de près de 35 % aux heures de pointe, offrant des gains tangibles en productivité, en qualité de vie et en performance environnementale.

### C. Hypothèses de réduction des émissions

#### 1. Modélisation des impacts atmosphériques

La modélisation combine plusieurs dimensions : les réductions directes d'émissions et les effets induits sur la fluidité du trafic.

Les réductions directes proviennent du retrait de 500 minibus vétustes, de la diminution estimée de 15 000 trajets en voiture particulière par jour et de la baisse d'environ 25 000 trajets réalisés par zémidjans sur le corridor.

Les effets induits s'observent à travers une circulation plus fluide, la réduction des émissions liées aux embouteillages et une meilleure efficacité énergétique du système global.

La quantification des impacts montre une baisse de 25 % des concentrations de PM<sub>2.5</sub> sur le corridor et de 30 % des niveaux de NO<sub>2</sub> autour des stations. La zone d'influence s'étend sur environ 500 mètres de part et d'autre du tracé, avec une population directement concernée estimée à 400 000 habitants.

## D. Enjeux décisionnels

- Rentabilité socio-sanitaire

Le projet doit démontrer que les bénéfices sanitaires attendus compensent l'investissement de 300 millions USD. La réduction des maladies liées à la pollution constitue le critère central.

- Priorisation spatiale

Le tracé choisi doit cibler les zones les plus exposées pour maximiser l'impact sanitaire et social.

- Équité sociale

L'efficacité du projet dépend de sa capacité à profiter en priorité aux populations vulnérables et aux usagers dépendants des transports collectifs.

- Synergies politiques

L'articulation avec le Programme Mobilité Verte est essentielle pour garantir la cohérence et l'efficacité des politiques publiques.



## II. Préparation des données

### A. Stratégie de données adaptée au contexte

Face aux contraintes de disponibilité des données, une approche pragmatique combinant sources primaires et modélisation a été développée.

### B. Données de pollution : Approche hybride

#### 1. Campagne de mesure dédiée

Une campagne de mesure atmosphérique a été réalisée durant la saison sèche, en janvier 2024, sur une période de quatre semaines. Quatre sites représentatifs ont été sélectionnés afin de capturer la diversité des expositions urbaines à Lomé.

Sur le Boulevard du 13 Janvier, l'un des axes les plus fréquentés de la capitale, les concentrations moyennes ont atteint 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le PM<sub>2.5</sub> et 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le NO<sub>2</sub>, confirmant l'impact majeur du trafic routier sur la qualité de l'air.

Au marché de Hanoukopé, zone commerciale animée et fortement exposée aux activités humaines, les niveaux enregistrés étaient légèrement inférieurs mais toujours préoccupants : 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> et 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de NO<sub>2</sub>.

L'Université de Lomé, caractérisée par un environnement mixte (résidentiel et institutionnel), a présenté des valeurs plus modérées, avec 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> et 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de NO<sub>2</sub>, traduisant une exposition intermédiaire.

Enfin, le site résidentiel côtier de Bè-Kpota a montré les concentrations les plus basses, soit 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> et 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de NO<sub>2</sub>, reflétant l'influence protectrice de l'ouverture maritime et d'une circulation relativement moins dense.

#### 2. Extrapolation spatiale

Afin d'aller au-delà des points de mesure ponctuels, une extrapolation spatiale a été réalisée à l'aide d'un modèle de régression. Celui-ci intègre la distance aux grands axes routiers, la densité du trafic mesurée par comptages manuels ainsi que la typologie urbaine (zones commerciales, résidentielles ou industrielles). Les estimations ont ensuite été validées par recoupement avec les données satellitaires du service CAMS, garantissant une meilleure robustesse méthodologique.

### 3. Résultat : Carte de pollution baseline

L'application du modèle permet de dresser une cartographie de référence de la pollution atmosphérique dans la zone d'influence du projet BRT. Sur le corridor principal, les concentrations moyennes sont estimées à 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le PM<sub>2.5</sub> (avec un intervalle de 28 à 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le NO<sub>2</sub> (35 à 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). L'analyse révèle un gradient marqué centre-périphérie, confirmant que les quartiers proches du centre-ville et des axes structurants supportent les niveaux les plus élevés d'exposition.

## C. Données démographiques : Granularité fine

### 1. Désagrégation du RGPH 2022

Le Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2022 fournit des données jusqu'au niveau des cantons. Pour analyser spécifiquement l'impact du corridor BRT, une désagrégation fine a été réalisée. La méthodologie s'appuie sur l'identification des cantons traversés, l'analyse d'images satellites haute résolution et le comptage des structures résidentielles. Des ratios différenciés d'habitants par structure ont ensuite été appliqués afin d'obtenir une estimation plus réaliste de la population exposée dans la zone d'influence directe, définie comme un périmètre de 500 mètres de part et d'autre du corridor.

Cette approche permet d'estimer à 396 500 habitants la population concernée. La structure démographique est marquée par une forte proportion de jeunes : 35 % ont moins de 15 ans, soit près de 140 000 individus. La population active (15-64 ans) représente 61 %, tandis que les personnes âgées (65 ans et plus) constituent 4 % du total, soit environ 15 860 habitants. La densité moyenne atteint 8 500 habitants par km<sup>2</sup>, illustrant la forte pression démographique autour du corridor.

Sur le plan socio-économique, la population présente une vulnérabilité notable. Près de 45 % des ménages vivent sous le seuil de pauvreté (moins de 1 dollar par jour). Seuls 12 % disposent d'un véhicule privé, tandis que 75 % dépendent directement des transports publics, soulignant l'importance stratégique du futur BRT pour la mobilité quotidienne. Enfin, environ 40 % des habitants exercent une activité professionnelle en extérieur, ce qui accroît significativement leur exposition aux polluants atmosphériques.



## D. Données sanitaires: Consolidation multi-sources

### 1. Extraction DHIS2 : Région Maritime

L'exploitation des données issues de la plateforme DHIS2 pour l'année 2023 permet d'obtenir un premier profil sanitaire de la région de Lomé. La mortalité toutes causes est estimée à 825 décès pour 100 000 habitants, dont 95 imputables aux maladies respiratoires, 215 aux pathologies cardiovasculaires et 65 aux néoplasmes. En termes de morbidité hospitalière, les infections respiratoires aiguës (IRA) représentent le fardeau le plus élevé avec 2 450 cas pour 100 000 habitants, suivies de l'asthme (580 cas) et des maladies cardiovasculaires (1 120 cas).

Ajustements méthodologiques

Afin de garantir la robustesse des estimations, plusieurs ajustements ont été intégrés :

- **Correction de la sous-déclaration** : Les données brutes de mortalité ont été ajustées par un facteur de 1,4 pour le milieu urbain de Lomé, en cohérence avec les résultats de l'enquête mortalité de 2022.
- **Standardisation par âge** : Les taux ont été recalculés pour refléter la structure démographique spécifique de la zone d'étude, en s'appuyant sur la population standard définie par l'OMS.
- **Extrapolation temporelle** : Les tendances observées entre 2019 et 2023 indiquent une progression annuelle moyenne de +3 % de la mortalité, utilisée pour projeter les valeurs 2024-2025 de manière linéaire.

Cette approche de consolidation permet de disposer d'une base sanitaire cohérente et comparable, essentielle pour quantifier les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique dans le cadre de l'outil AirQ+.

## E. Consolidation dans le format AirQ+

Tableau de synthèse des données préparées

Paramètre	Valeur baseline	Valeur projet	Source	Confiance
PM2.5 corridor	35 µg/m³	26 µg/m³	Mesures + modèle	Moyenne
Population exposée	396 500	396 500	RGPH désagrégué	Élevée
Mortalité adultes 30+	1 150/100k	-	DHIS2 ajusté	Moyenne
% réduction PM2.5	-	-25%	Modélisation	Moyenne



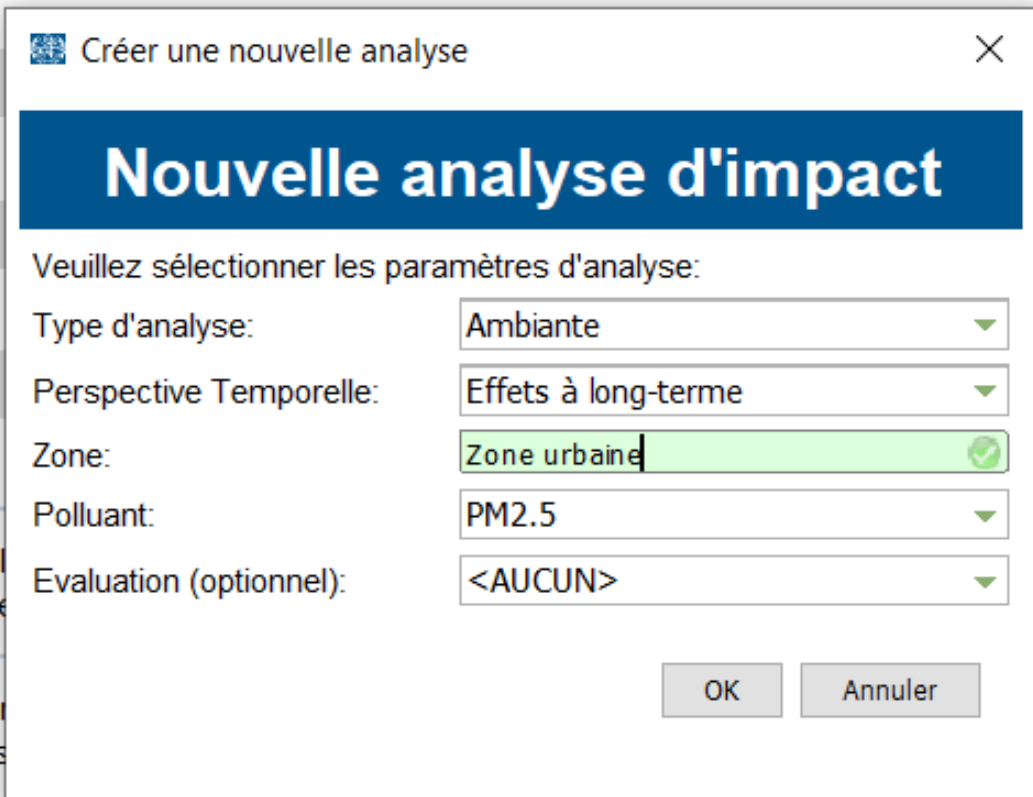
### III. Création de l'analyse pas à pas

#### A. Configuration initiale d'AirQ+

- **Étape 1 : Lancement et création du projet**

1. Ouvrir AirQ+ (double-clic sur l'icône bureau)
2. Dans l'écran d'accueil, sélectionner "Créer une nouvelle Évaluation d'Impact"
3. Paramétrage initial :

- Nom du projet : "BRT\_Lome\_Impact\_Sanitaire\_2024"
- Type d'analyse : "Ambiante"
- Perspective temporelle : "Effets à long terme"
- Zone : "Zone urbaine"
- Polluant : "PM2.5"



**Créer une nouvelle analyse**

## Nouvelle analyse d'impact

Veuillez sélectionner les paramètres d'analyse:

Type d'analyse: Ambiante

Perspective Temporelle: Effets à long-terme

Zone: Zone urbaine

Polluant: PM2.5

Evaluation (optionnel): <AUCUN>


OK Annuler



- **Étape 2 : Configuration des propriétés d'analyse**
- Dans l'onglet "Propriétés d'analyse" :
  - Population totale : 396500
  - Option sélectionnée : "Entrer la valeur moyenne"
  - Valeur moyenne PM2.5 : 35 µg/m³
  - Année de référence : 2024
  - Superficie de la zone : 46.7 km²

### Évaluation d'impact: Effets à long-terme (Ambiante)

Nom de l'analyse:  ✓

Polluant:  

### Concentration de pollution

☒ Entrer la valeur moyenne ☐ Entrer les données de qualité de l'air

Valeur moyenne (µg/m³):  ✓

### Zone

Zone:  ✓

Population totale:  ✓

Année:

Superficie de la zone (km²):  ✓

Latitude:

Longitude:

### Source de données de qualité de l'air et commentaires

Source des données de pollution atmosphérique:

Nombre de stations utilisées:

Localisation:

Type de station:

Agence / unité responsable:

- **Point de vigilance** : Utiliser le point comme séparateur décimal même en contexte francophone.
- **Étape 3 : Définition de l'évaluation d'impact**

Cliquer sur "Créer une nouvelle évaluation d'impact" et configurer :

- Nom de l'évaluation : "Scenario\_BRT\_Reduction\_25\_pourcent"
- Paramètres sanitaires :
  - Indicateur de santé : "Mortalité, toutes causes (naturelles)"
  - Incidence (pour 100 000) : 1150
  - Population à risque : 257725 (65% de 396500)
- Paramètres de calcul :
  - Méthode de calcul : "log-linéaire"
  - Risque Relatif : 1.062
  - IC 95% inférieur : 1.040
  - IC 95% supérieur : 1.083
  - Valeur seuil : 26 (objectif post-BRT)

Impact Evaluation
Detailed Results

**Impact Evaluation (PM2.5)**

Evaluation Name:
Scenario\_BRT\_Reduction\_25\_pourcent

**Health Endpoint**

Health Endpoint:
Mortality, all (natural) causes (adults age 30+ years)

Incidence (per 100 000 Population at risk per year):
1150

Pop. at risk (65%):
#
257725

**Calculation Parameters**

Calculation Method:
log-linear

Relative Risk:
1.062
Lower:
1.040
Upper:
1.083

Cut-off Value X0 (see formula)
26

Mean Concentration X:
35

Advanced

Calculate

## B. Exécution de l'analyse

### • Étape 4 : Lancement des calculs

1. Vérifier la cohérence des données (indicateur vert)
2. Cliquer sur "Calculer"
3. Temps d'exécution : ~3 secondes

### • Étape 5 : Exploration des résultats

L'interface présente trois onglets de résultats :

- Onglet "Résultats principaux"
  - Estimation de la part attribuable : 5.27%
  - Estimation du nombre de cas attribuables : 156
  - IC 95% : [103 - 205]
- Interprétation immédiate : La réduction de PM2.5 de 35 à 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  permettrait d'éviter environ 156 décès prématurés par an dans la zone d'influence du BRT.

Results (last calculation 2025-08-18 08:15:59)				
	Central	Lower	Upper	
Estimated Attributable Proportion	5.27%	3.47%	6.92%	⬆
Estimated number of Attributable Cases	156	103	205	
Estimated number of Attributable Cases per 100,000 Population at Risk	60.60	39.89	79.63	⬇

## C. Analyses de sensibilité

### Variation des hypothèses clés

Pour tester la robustesse des résultats, trois analyses supplémentaires sont conduites :

- **Scénario conservateur** : en limitant la réduction des concentrations de PM2.5 à seulement 15 %, le modèle estime un impact de 87 décès évités, avec un intervalle de confiance compris entre 68 et 136.
- **Scénario optimiste** : dans l'hypothèse d'une baisse plus marquée, soit 35 % de réduction du PM2.5, les décès évités atteignent 225, avec un intervalle de confiance de 159 à 318.
- **Population élargie** : en étendant la zone d'influence du projet à 1 km autour du corridor, représentant environ 650 000 habitants, le nombre de décès évités s'élève à 266, avec un intervalle de confiance allant de 186 à 372.

## IV. Interprétation des résultats

### A. Analyse stratégique des outputs

Les résultats indiquent que le projet permettrait d'éviter environ 156 décès par an. Ce chiffre, bien qu'en apparence modeste, représente 0,7 % de la mortalité totale dans la zone d'influence et jusqu'à 21 % de la mortalité attribuable à l'exposition au PM2.5. En termes de santé publique, cela correspond à environ 2 150 années de vie gagnées (DALY).

Pour donner un ordre de grandeur, l'impact sanitaire du BRT serait équivalent à l'élimination de 85 % des accidents mortels de la route à Lomé, qui causent environ 200 décès par an. Cette comparaison illustre la portée stratégique du projet au-delà de la seule mobilité.

### B. Dimensions économiques

L'évaluation monétaire des bénéfices sanitaires s'appuie sur la Valeur Statistique de la Vie (VSL), ajustée au PIB togolais et estimée à 150 000 USD. En appliquant ce facteur :

- Les bénéfices annuels associés aux décès évités atteignent 23,4 millions USD.
- Sur une période de 20 ans, avec un taux d'actualisation de 5 %, la valeur actualisée cumulée atteint 318,6 millions USD.

Comparés au coût du projet estimé à 300 millions USD, les seuls bénéfices sanitaires produisent un ratio bénéfice/coût de 1,07. Autrement dit, l'investissement se justifie même sans prendre en compte les autres gains attendus, tels que les économies de temps de trajet, la réduction de la consommation de carburant ou encore les bénéfices environnementaux élargis.

### C. Analyse d'équité

Au-delà des chiffres agrégés, l'étude met en lumière une forte dimension sociale. L'analyse spatiale révèle que 65 % des bénéficiaires appartiennent aux deux quintiles les plus pauvres, et que les quartiers informels profitent de manière disproportionnée du projet. Le BRT contribue donc à une réduction tangible des inégalités environnementales.

En termes de vulnérabilité, les décès évités se répartissent comme suit :

- Enfants de moins de 5 ans : 28 décès évités (16 %)
- Personnes âgées de 65 ans et plus : 45 décès évités (26 %)
- Adultes actifs : 99 décès évités (58 %)

Ces chiffres confirment que le projet cible à la fois les groupes les plus fragiles sur le plan sanitaire et la population économiquement active, maximisant ainsi l'impact socio-économique.

## D. Limites et incertitudes

Comme toute modélisation, ces résultats doivent être interprétés avec prudence. Trois principales sources d'incertitude sont identifiées :

- **Données d'exposition** : une marge de  $\pm 20$  %, liée à la variabilité spatiale et à la saisonnalité insuffisamment captée.
- **Efficacité du projet** : une incertitude de  $\pm 30$  %, dépendant du report modal effectif et des comportements d'adaptation.
- **Fonctions dose-réponse** : une incertitude de  $\pm 15$  %, due à la transférabilité des coefficients au contexte africain et à la composition spécifique des particules.

Une analyse Monte Carlo menée sur 10 000 simulations intègre ces incertitudes. Elle indique une médiane de 168 décès évités, avec un intervalle allant de 89 décès (P10) à 265 décès (P90). Ces résultats confirment la robustesse de l'ordre de grandeur, tout en fournissant une lecture probabilisée utile aux décideurs.

## V. Rédaction du rapport

### A. Structure exécutive du rapport d'impact

Note de synthèse exécutive (1 page)

- **ÉVALUATION DE L'IMPACT SANITAIRE DU PROJET BRT LOMÉ**
- **Contexte**

Le projet de Bus Rapid Transit de Lomé vise à transformer la mobilité urbaine sur l'axe Est-Ouest de la capitale. Au-delà des bénéfices directs en termes de transport, cette analyse quantifie les retombées sanitaires liées à l'amélioration de la qualité de l'air.

- **Méthodologie**
  - Utilisation d'AirQ+ (OMS) avec données locales de pollution et santé.
  - Modélisation d'une réduction de 25% des PM2.5 sur le corridor.
- **Résultats clés**
  - 156 décès prématurés évités annuellement (IC 95% : 114-227)

- 2 150 années de vie gagnées
- Bénéfice économique : 25.8 millions USD/an
- 65% des bénéficiaires issus des populations défavorisées

- **Recommandations**

1. Valider le projet BRT comme investissement prioritaire
2. Optimiser le tracé pour maximiser l'exposition évitée
3. Communiquer les co-bénéfices sanitaires au public
4. Intégrer un système de monitoring post-implementation

- **Conclusion**

Le projet BRT présente un ratio bénéfice-coût favorable sur la base des seuls impacts sanitaires, confirmant sa pertinence stratégique pour le développement durable de Lomé.

## B. Rapport technique détaillé

Structure recommandée (15-20 pages)

1. Résumé exécutif (1 page)
2. Introduction et contexte (2 pages)
  - Enjeux mobilité-santé à Lomé
  - Description du projet BRT
3. Méthodologie (3 pages)
  - Présentation AirQ+
  - Sources de données
  - Hypothèses et limitations
4. Résultats (4 pages)
  - Impacts quantifiés
  - Analyses de sensibilité
  - Distribution spatiale et sociale
5. Discussion (3 pages)
  - Mise en perspective
  - Comparaisons internationales
  - Implications politiques
6. Recommandations (2 pages)

- Court terme : optimisations projet
- Moyen terme : monitoring
- Long terme : système intégré

## 7. Annexes techniques

- Données détaillées
- Calculs intermédiaires
- Cartes et graphiques

## C. Supports de communication

- **Présentation PowerPoint (15 slides)**

Structure type pour comité de pilotage :

1. Titre et contexte
2. Problématique : crise sanitaire liée à la pollution
3. Solution : le projet BRT
4. Méthodologie : AirQ+ en bref
5. Données clés utilisées
6. Résultat principal : vies sauvées
7. Bénéfices économiques
8. Carte d'impact spatial
9. Bénéficiaires : focus équité
10. Comparaison avec autres interventions
11. Incertitudes et robustesse
12. Recommandations prioritaires
13. Prochaines étapes
14. Conclusion : au-delà du transport
15. Questions et discussion



- **Infographie grand public**

Messages clés visuels :

- "Le BRT sauvera 156 vies chaque année"
- "Équivalent à prévenir 8 accidents de la route sur 10"
- "2 habitants sur 3 qui bénéficient sont défavorisés"
- "Chaque franc investi rapporte 1.07 franc en santé"

### Points clés du chapitre

1. **De la théorie à l'action concrète** : Ce cas pratique démontre la faisabilité d'une évaluation rigoureuse même en contexte de données limitées. L'approche **pragmatique adoptée peut être répliquée pour d'autres projets**.
2. **Résultats qui parlent aux décideurs** : La traduction en vies sauvées et en valeur économique transforme des concentrations abstraites en arguments politiques puissants.
3. **L'équité au cœur de l'analyse** : La démonstration que les populations vulnérables bénéficient prioritairement renforce l'acceptabilité sociale et politique du projet.
4. **Gestion transparente de l'incertitude** : Plutôt que de la cacher, l'analyse explicite des incertitudes renforce la crédibilité et guide les besoins futurs en données.
5. **Communication multi-niveau** : Du rapport technique à l'infographie, chaque audience reçoit l'information adaptée, maximisant l'impact de l'analyse.





## CHAPITRE 8 : ANALYSES AVANCÉES



## I. Comparaison de scénarios

### A. Architecture décisionnelle multi-critères

La complexité des choix d'investissement en mobilité durable nécessite une approche sophistiquée dépassant l'analyse mono-projet. La comparaison systématique de scénarios alternatifs, intégrant les dimensions sanitaires, économiques et sociales, constitue un avantage compétitif majeur dans l'allocation optimale des ressources limitées.

### B. Framework de comparaison structuré

Matrice d'évaluation comparative

Pour le corridor Est-Ouest de Lomé, quatre scénarios sont modélisés :

Scénario	Description	Investissement	Horizon
<b>S0 – Baseline</b>	Statu quo, croissance tendancielle	0	-
<b>S1 - BRT complet</b>	22 km, 150 bus Euro V	300 M USD	2026
<b>S2 - Amélioration bus</b>	Renouvellement flotte existante	80 M USD	2025
<b>S3 - Mobilité douce</b>	Réseau cyclable + piétonisation	50 M USD	2025
<b>S4 – Hybride</b>	BRT léger + vélo + zones 30	180 M USD	2026

### C. Modélisation des impacts différenciés

L'analyse prospective des différents scénarios permet de mieux comprendre l'ampleur des bénéfices sanitaires et économiques associés aux politiques de transport durable. En l'absence d'intervention, la dynamique actuelle du trafic entraînerait une dégradation rapide de la qualité de l'air. À l'inverse, des mesures ciblées, qu'il s'agisse du déploiement d'un BRT, du renouvellement de la flotte de bus ou de la promotion de la mobilité douce, offrent des perspectives contrastées mais toutes significatives en matière de santé publique.

- **Scénario 0 : Trajectoire tendancielle**

Sans réforme, la croissance continue du trafic (+4,5 % par an) se traduirait par une hausse marquée des concentrations de polluants. En 2030, les niveaux de PM<sub>2.5</sub> atteindraient en moyenne 48 µg/m<sup>3</sup>, soit une augmentation de 37 % par rapport aux niveaux actuels, tandis que les concentrations de NO<sub>2</sub> grimperaient à 72 µg/m<sup>3</sup>, en hausse de 50 %. Ces évolutions se traduiraient directement en termes sanitaires par environ 215 décès supplémentaires chaque année, liés à l'exposition chronique aux particules fines. Cette trajectoire met en évidence l'urgence d'intervenir : l'inaction a un coût humain certain et croissant.

- **Scénario 1 : BRT complet (analyse détaillée Ch.7)**

Le déploiement intégral d'un Bus Rapid Transit (BRT) offrirait une réduction de 25 % des concentrations de PM<sub>2.5</sub> le long du corridor concerné. Concrètement, cela se traduirait par environ 156 décès évités chaque année. L'évaluation économique confirme la pertinence de l'investissement : sur une période de 20 ans, les bénéfices sanitaires actualisés (NPV) atteindraient 321 millions USD, pour un ratio bénéfice-coût de 1,07. Autrement dit, les bénéfices liés uniquement à la santé suffisent déjà à justifier l'investissement, sans même considérer les gains additionnels de temps et de productivité.

- **Scénario 2 : Renouvellement flotte bus**

Un autre levier consiste à remplacer 400 minibus par des bus conformes à la norme Euro IV, couvrant l'ensemble de l'agglomération. Cette modernisation réduirait de 60 % les émissions unitaires du parc visé. Selon la modélisation AirQ<sup>+</sup>, cette stratégie permettrait de diminuer la concentration moyenne de PM<sub>2.5</sub> de 35 à 32,2 µg/m<sup>3</sup>, soit une baisse de 8 % sur une population exposée estimée à 1,2 million d'habitants. Les retombées sanitaires sont considérables : environ 195 décès évités par an, avec un bénéfice économique actualisé de 364 millions USD sur 20 ans. Le ratio bénéfice-coût atteint 4,55, ce qui illustre l'efficacité économique exceptionnelle d'une telle mesure.

- **Scénario 3 : Infrastructure mobilité douce**

Le développement d'infrastructures favorables à la marche et au vélo constitue une autre approche. Le scénario prévoit la création de 80 km de pistes cyclables sécurisées, la mise en place de 15 km<sup>2</sup> de zones piétonnes ou limitées à 30 km/h, ainsi qu'un réseau de stationnement vélo. Cette politique favoriserait un report modal notable : 8 % des automobilistes basculeraient vers le vélo et 15 % des motocyclistes vers la marche, entraînant une réduction de 20 % du trafic en centre-ville. Pour une population concernée d'environ 450 000 habitants, les concentrations de PM<sub>2.5</sub> chuteraient de 35 à 29,75 µg/m<sup>3</sup>, soit une baisse de 15 %. Chaque année, près de 100 décès seraient évités, avec une valeur économique de 183 millions USD (NPV sur 20 ans). Le ratio bénéfice-coût ressort à 3,66, démontrant la forte rentabilité de ce type d'investissement urbain.

- **Scénario 4 : Approche hybride optimisée**

Enfin, la combinaison des différentes stratégies apparaît comme particulièrement prometteuse. Le scénario hybride repose sur un BRT allégé couvrant 12 km prioritaires, complété par un réseau cyclable connecté et des zones apaisées autour des stations. L'effet combiné de ces interventions dépasse la simple addition des impacts : une synergie permet d'accroître de 15 % l'efficacité totale. L'exposition moyenne à la pollution diminue ainsi de 22 %, bénéficiant à près de 580 000 habitants. L'impact sanitaire est estimé à 201 décès évités par an. La valorisation économique confirme la solidité du scénario : 375 millions USD de bénéfices actualisés, avec un ratio B/C de 2,08.

## D. Analyse multicritères approfondie

### 1. Grille d'évaluation pondérée

Critère	Poids	S1-BRT	S2-Bus	S3-Vélo	S4-Hybride
Impact sanitaire	30%	7/10	8/10	5/10	9/10
Ratio B/C	25%	5/10	10/10	8/10	7/10
Équité sociale	20%	8/10	6/10	4/10	9/10
Faisabilité	15%	6/10	9/10	8/10	7/10
Co-bénéfices	10%	9/10	5/10	10/10	9/10
<b>Score pondéré</b>	<b>100%</b>	<b>6.85</b>	<b>7.75</b>	<b>6.55</b>	<b>8.20</b>

### 2. Insights stratégiques

Trois leçons clés se dégagent de cette analyse. Premièrement, l'approche hybride représente la solution la plus équilibrée, en capitalisant sur les synergies entre infrastructures lourdes et mobilités douces. Deuxièmement, le renouvellement de la flotte de bus constitue le levier le plus efficace en termes de rendement économique. Enfin, la mobilité douce, bien que moins performante sur le plan quantitatif, reste incontournable pour ses co-bénéfices sanitaires et sociétaux.

## E. Recommandation : Approche séquentielle

La transformation du système de transport de Lomé ne peut être envisagée comme un chantier unique et instantané. Compte tenu des contraintes budgétaires, institutionnelles et sociales, une approche séquentielle apparaît comme la plus adaptée. Elle permet de sécuriser rapidement des bénéfices sanitaires tangibles, tout en construisant progressivement les bases d'un système intégré et durable.

- **Phase 1 (2024-2025) : Quick wins**

La première étape doit se concentrer sur des mesures rapides à déployer et générant un impact immédiat. Le renouvellement partiel de la flotte de minibus, pour un investissement estimé à 40 millions USD, constitue le levier le plus efficace à court terme. En parallèle, l'aménagement de zones 30 et le déploiement de pistes cyclables pilotes, avec un budget de 20 millions USD, permettront de favoriser les modes actifs et de réduire l'insécurité routière. L'impact attendu est significatif, avec environ 120 décès évités par an.

- **Phase 2 (2026-2028) : Consolidation**

La deuxième phase vise à amplifier les résultats initiaux et à installer des infrastructures structurantes. Elle repose sur l'extension du réseau cyclable et le lancement de la première ligne de Bus à Haut Niveau de Service (BRT). Cette combinaison associe l'efficacité d'un mode de transport collectif moderne à la montée en puissance de la mobilité douce. Les bénéfices sanitaires se renforcent alors, avec près de 250 décès évités par an.

- **Phase 3 (2029-2030) : Transformation**

La troisième et dernière étape consiste à achever la transition vers un système intégré. À l'horizon 2030, l'objectif est de disposer d'un réseau complet combinant BRT, infrastructures cyclables et zones apaisées, formant un véritable écosystème de mobilité durable. À ce stade, les impacts sanitaires atteignent une ampleur inédite, avec environ 350 décès évités chaque année.





## II. Analyses multi-polluants

### A. Au-delà des PM2.5 : approche holistique

La focalisation exclusive sur les particules fines, bien que justifiée par leur impact prépondérant, occulte les effets synergiques de l'exposition simultanée à multiples polluants. Cette section développe une méthodologie avancée pour capturer la complexité de l'exposome urbain.

### B. Configuration multi-polluants dans AirQ+

#### 1. Analyse séquentielle avec agrégation

AirQ+ ne permettant pas nativement l'analyse simultanée, une approche par étapes est nécessaire :

##### 1. Analyse PM2.5 (réalisée précédemment)

- Décès évités : 156
- Hospitalisations respiratoires évitées : 850

##### 2. Analyse NO2 complémentaire

**Configuration :**

- Concentration baseline : 48 µg/m<sup>3</sup>
- Concentration projet : 33.6 µg/m<sup>3</sup> (-30%)
- Population : 396 500
- RR mortalité respiratoire : 1.03 par 10 µg/m<sup>3</sup>

**Résultats :**

- Mortalité respiratoire évitée : 28 décès/an
- Hospitalisations asthme évitées : 145/an

##### 3. Analyse Ozone (O3)

**Particularité : Formation secondaire complexe**

- Hypothèse : Réduction précurseurs (NOx, COV) → -20% O3
- Baseline période chaude : 85 µg/m<sup>3</sup>
- Impact : 15 décès respiratoires évités



## C. Gestion des double-comptages

### 1. Matrice de corrélation des impacts

Dans une approche multi-polluants, les effets sanitaires ne s'additionnent pas mécaniquement. En réalité, certains impacts se recoupent partiellement, ce qui introduit un risque de double-comptage. La matrice de corrélation permet d'identifier ces recouvrements :

Polluant 1	Polluant 2	Corrélation impacts	Ajustement
PM2.5	NO2	0.4	-20%
PM2.5	O3	0.2	-10%
NO2	O3	0.6	-30%

### 2. Calcul de l'impact total ajusté

Sur la base des estimations brutes, la réduction de la pollution aurait permis d'éviter 199 décès par an (156 liés aux PM2,5, 28 aux NO<sub>2</sub> et 15 à l'ozone). Cependant, après prise en compte des chevauchements identifiés, environ 25 décès doivent être retranchés du total. L'impact net consolidé ressort donc à 190 décès évités chaque année. Ce chiffre reflète une estimation robuste et ajustée, plus représentative de la réalité sanitaire lorsqu'on considère l'ensemble des polluants simultanément.

## D. Effets cocktail et vulnérabilités croisées

### 1. Populations multi-exposées

L'analyse spatiale révèle plusieurs zones critiques. Aux carrefours majeurs, PM2,5 et NO<sub>2</sub> atteignent simultanément des niveaux élevés. En zones périurbaines, la combinaison PM2,5 et ozone domine. Sur les axes de transit, les habitants subissent l'exposition maximale à l'ensemble des polluants.

### 2. Indice composite de qualité de l'air

Un indice composite (ICQA) a été construit pour intégrer les expositions multiples :

$$\text{ICQA} = 0.5 \times (\text{PM}_{2.5}/25) + 0.3 \times (\text{NO}_2/40) + 0.2 \times (\text{O}_3/100)$$

Les résultats confirment plusieurs points chauds : boulevard du 13 Janvier (2.4) et rond-point Déckon (2.2). Environ 85 000 habitants vivent dans des zones où l'ICQA dépasse 2, marquant une vulnérabilité élevée aux effets combinés.

## E. Priorisation des interventions par polluant

### Matrice efficacité-polluant

Intervention	Impact PM2.5	Impact NO2	Impact O3	Coût/efficacité
Zones faibles émissions	***	***	*	€€
Électrification bus	***	***	**	€€€
Gestion trafic intelligent	**	**	*	€
Végétalisation urbaine	*	*	**	€
Contrôle technique renforcé	**	**	*	€

## III. Projections futures

### A. Modélisation prospective 2030-2050

L'évaluation des politiques de mobilité nécessite une vision long terme intégrant les dynamiques urbaines, démographiques et technologiques. Cette approche prospective révèle souvent que les bénéfices croissent de manière non-linéaire.

### B. Scénarios de développement urbain

#### Hypothèses structurantes

#### 1. Croissance démographique :

La population de Lomé, estimée à 2,2 millions d'habitants en 2024, atteindrait 2,8 millions en 2030 (+6 %/an), puis 3,9 millions en 2040 (+4 %/an) et 5,2 millions en 2050 (+3 %/an). Cette trajectoire traduit une urbanisation soutenue, avec une pression croissante sur les infrastructures et la qualité de l'air.

## 2. Évolution de la motorisation :

Le parc de véhicules, actuellement de 45 pour 1 000 habitants, devrait passer à 75 en 2030 (+9 %/an), 150 en 2040 (+7 %/an) et 250 en 2050 (+5 %/an). Cette dynamique accentuera la dépendance automobile et les émissions polluantes, sauf intervention majeure.

## 3. Transformation technologique

La transition technologique reste progressive : la part des véhicules électriques passerait de 2 % en 2030 à 25 % en 2050. Parallèlement, les normes d'émissions évolueront, de l'application du standard Euro IV en 2030 vers Euro VI en 2040, améliorant l'efficacité environnementale du parc.

## C. Modélisation des trajectoires

### 1. Scénario "Laisser-faire"

En l'absence de politiques volontaristes, la qualité de l'air de Lomé connaîtrait une dégradation continue. La concentration moyenne de PM<sub>2.5</sub> passerait de 35 µg/m<sup>3</sup> en 2024 à 52 µg/m<sup>3</sup> en 2030, 68 µg/m<sup>3</sup> en 2040 et atteindrait 75 µg/m<sup>3</sup> à l'horizon 2050. Cette évolution se traduirait par une mortalité attribuable en forte hausse : 820 décès en 2024, près de 1 850 en 2030, 3 900 en 2040 et jusqu'à 6 200 en 2050. Au total, le coût sanitaire cumulé sur la période 2024-2050 atteindrait environ 4,2 milliards USD, illustrant un scénario à la fois insoutenable et économiquement destructeur.

### 2. Scénario "Programme Mobilité Verte"

La mise en œuvre d'une stratégie intégrée transforme radicalement la trajectoire. Entre 2025 et 2030, le lancement du BRT et le renouvellement partiel de la flotte initient une amélioration tangible. L'extension du transport public et les zones à faibles émissions renforcent cette dynamique dès 2030, tandis que l'électrification massive entre 2035 et 2040, puis la mobilité autonome partagée à partir de 2040, consolident le modèle. La concentration de PM<sub>2.5</sub> chuterait alors progressivement : 28 µg/m<sup>3</sup> en 2030, 20 µg/m<sup>3</sup> en 2040 et seulement 15 µg/m<sup>3</sup> en 2050. L'impact sanitaire serait majeur avec environ 35 000 décès évités sur la période, dont 1 500 d'ici 2030, 8 500 supplémentaires dans la décennie suivante et 25 000 d'ici 2050. Ces bénéfices se traduiraient par 5,3 milliards USD de gains économiques, pour un retour sur investissement estimé à 8,2, démontrant la solidité et l'efficacité de ce programme.

## D. Points de bascule et fenêtres d'opportunité

Analyse des points critiques :

### 1. 2028 : Seuil de congestion critique

À l'horizon 2028, Lomé atteindra un point de rupture en matière de mobilité. Les projections indiquent que, sans intervention majeure, la vitesse moyenne du trafic chuterait en dessous de 8 km/h, rendant les déplacements urbains quasi-paralysés. À ce stade, le coût économique de la congestion dépasserait les bénéfices générés par la croissance du parc motorisé. Cette situation constituerait une fenêtre décisive pour engager un véritable changement de paradigme en faveur des modes de transport collectifs et durables.

### 2. 2032 : Parité coût TCO électrique/thermique

L'année 2032 marquerait un tournant technologique majeur avec l'atteinte de la parité entre véhicules électriques et thermiques en termes de coût total de possession. Ce basculement ouvrirait une opportunité unique pour transformer la flotte publique et accélérer la transition vers une mobilité bas-carbone. La mise en place de mécanismes tels que le leasing social pour véhicules électriques permettrait d'élargir l'accès à ces technologies et de démocratiser leur adoption.

### 3. 2035 : Crise sanitaire probable

Les projections anticipent environ 3 000 décès annuels attribuables à la pollution atmosphérique, un chiffre susceptible de déclencher une pression sociale et politique forte en faveur d'actions radicales. Ce contexte pourrait forcer des décisions accélérées, mais dans un cadre d'urgence, donc potentiellement moins efficace et plus coûteux qu'une transition anticipée et planifiée.



## E. Indicateurs de suivi stratégique

Le suivi de la trajectoire de transition nécessite un tableau de bord prospectif, permettant de mesurer les progrès réalisés et d'anticiper les ajustements stratégiques. Cinq indicateurs clés structurent cette évaluation.

### Dashboard prospectif

Indicateur	2024	2030	2040	2050	Cible
PM2.5 moyen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	35	28	20	15	<10
Part modale TC (%)	15	30	45	60	>50
Mortalité évitée/an	0	350	1200	2500	Max
ROI cumulé	-	2.1	5.4	8.2	>5

En combinant ces indicateurs, le tableau de bord fournit une vision intégrée, à la fois sanitaire, économique et environnementale, essentielle pour piloter une transition durable et crédible du secteur des transports.

## IV. Intégration des coûts sanitaires

### A. Au-delà de la mortalité : coûts complets

L'analyse économique complète dépasse la seule valorisation des décès évités pour englober l'ensemble des coûts directs et indirects.

### B. Architecture des coûts sanitaires

#### 1. Coûts directs médicaux

Les coûts directs renvoient aux dépenses supportées par le système de santé et les ménages pour le traitement des pathologies liées à la pollution atmosphérique. À Lomé, une hospitalisation pour infection respiratoire aiguë représente en moyenne 2,5 millions FCFA, une consultation pour asthme environ 25 000 FCFA, tandis que les traitements chroniques atteignent près de 300 000 FCFA par an, auxquels s'ajoutent 150 000 FCFA pour examens et suivis médicaux. Appliquée au scénario de mise en œuvre du BRT, cette approche révèle un potentiel d'économies substantielles : 850 hospitalisations évitées et plus de 12 000 consultations évitées chaque année. Cela se traduit par un coût médical direct évité de 2,8 milliards FCFA, soit environ 4,7 millions USD par an.

## 2. Coûts indirects de productivité

Les coûts indirects sont appréhendés via la méthodologie du capital humain, qui mesure la perte de productivité liée à la morbidité et à la mortalité prématurée. Trois dimensions se dégagent. La première concerne l'absentéisme : près de 45 000 journées maladie évitées chaque année, évaluées à 225 millions FCFA. La deuxième correspond au présentéisme, c'est-à-dire une productivité réduite des travailleurs affectés par des troubles respiratoires : environ 25 000 personnes concernées, avec une perte estimée à 15 % de leur efficacité, générant un coût de 1,1 milliard FCFA. Enfin, la mortalité prématurée constitue de loin l'impact le plus significatif, avec environ 3 500 années productives perdues par an, représentant une valeur actualisée de 8,5 milliards FCFA.

## 3. Coûts intangibles monétarisés

Au-delà des coûts médicaux et de productivité, la pollution de l'air altère directement la qualité de vie. L'approche fondée sur la disposition à payer (willingness-to-pay) permet de monétariser ces impacts intangibles. Chaque QALY (année de vie ajustée par la qualité) est valorisé à 3 millions FCFA au Togo. Dans le scénario étudié, les gains sanitaires s'élèvent à 2 850 QALYs par an, soit un bénéfice annuel de 8,6 milliards FCFA.

## C. Tableau de bord économique intégré

L'évaluation économique du scénario BRT met en évidence des bénéfices sanitaires majeurs, largement supérieurs aux coûts du projet. En croisant les dimensions de mortalité évitée, de réduction de la morbidité, de gains de productivité et d'amélioration de la qualité de vie, il est possible d'estimer la valeur socio-économique globale de l'intervention.

Chaque année, la mise en œuvre du BRT permettrait d'éviter environ 15,5 milliards FCFA de pertes liées à la mortalité prématurée, auxquels s'ajoutent 2,8 milliards FCFA d'économies directes en soins médicaux, 9,8 milliards FCFA de gains de productivité et 8,6 milliards FCFA d'améliorations associées à la qualité de vie. Le total des bénéfices sanitaires annuels s'élève ainsi à près de 36,7 milliards FCFA.

Prolongée sur un horizon de vingt ans et actualisée, cette dynamique génère une valeur nette de 457 milliards FCFA. À titre de comparaison, le coût total du projet BRT est estimé à 180 milliards FCFA. Le ratio bénéfices-coûts ressort donc à 2,54, confirmant un retour sur investissement élevé et positionnant le BRT non seulement comme une infrastructure de mobilité, mais surtout comme un levier majeur de santé publique et de compétitivité économique.

## Synthèse coûts-bénéfices complets BRT

Catégorie	Coût annuel évité	NPV 20 ans
Mortalité	15.5 Mds FCFA	193 Mds FCFA
Morbidité directe	2.8 Mds FCFA	35 Mds FCFA
Productivité	9.8 Mds FCFA	122 Mds FCFA
Qualité de vie	8.6 Mds FCFA	107 Mds FCFA
<b>Total santé</b>	<b>36.7 Mds FCFA</b>	<b>457 Mds FCFA</b>
Coût projet	-	180 Mds FCFA
<b>Ratio B/C santé</b>	<b>-</b>	<b>2.54</b>

## D. Mécanismes de capture de valeur

La réussite d'un projet de mobilité durable ne dépend pas uniquement de sa conception technique, mais également de la capacité à internaliser et à sécuriser les bénéfices sanitaires qu'il génère. Plusieurs leviers financiers permettent de transformer ces gains en ressources dédiées, renforçant ainsi la soutenabilité du modèle.

### 1. Taxe santé sur carburants

Un prélèvement ciblé de 10 FCFA par litre, intégralement affecté à un fonds mobilité-santé, pourrait générer près de 8 milliards FCFA par an. L'acceptabilité sociale de cette mesure serait renforcée par la transparence de son affectation et le lien direct établi entre consommation d'énergie polluante et amélioration de la santé publique.

### 2. Péage urbain différencié

La mise en place d'un péage urbain modulé selon la performance environnementale des véhicules constitue un autre levier. Les véhicules propres bénéficieraient d'une exonération, tandis que les motorisations polluantes supporteraient une tarification renforcée, notamment aux heures de pointe. Les recettes dégagées pourraient être réinvesties directement dans les infrastructures de transport durable, garantissant un cercle vertueux d'amélioration continue.



### 3. Contribution employeurs

Enfin, les entreprises peuvent être associées à l'effort collectif. Une réduction des cotisations sociales, conditionnée à l'adoption d'un plan de mobilité favorisant le report modal des employés, représenterait un mécanisme « gagnant-gagnant ». Les employeurs bénéficient d'une productivité accrue grâce à la diminution de l'absentéisme, tandis que la collectivité profite d'un allègement de la pression sanitaire.

#### Points clés du chapitre

1. **La comparaison révèle les synergies** : L'analyse multi-scénarios démontre la supériorité des approches intégrées. Le whole est supérieur à la somme des parties.
2. **Multi-polluants : complexité maîtrisée** : La prise en compte simultanée PM2.5, NO2 et O3 augmente l'impact estimé de 10-20%, justifiant l'effort méthodologique.
3. **Vision long terme transformatrice** : Les projections 2050 révèlent l'urgence d'agir maintenant. Chaque année de retard coûte des vies et de l'argent.
4. **Business case sanitaire robuste** : L'intégration des coûts complets triple le ratio B/C, transformant la santé de "co-bénéfice" en driver principal.
5. **Mécanismes innovants de financement** : La capture de valeur sanitaire ouvre des sources de financement pérennes pour la mobilité durable.





## CHAPITRE 9 : INTÉGRATION DANS LES POLITIQUES (VERSION RÉVISÉE)



## I. Lien avec le Programme Mobilité Verte

### A. Vision transformationnelle du Programme Mobilité Verte

Le Programme Mobilité Verte (PMV) du Togo, inscrit dans la feuille de route gouvernementale Togo 2025, représente une ambition sans précédent pour transformer le secteur des transports. Avec un objectif de 3% de véhicules électriques dans les immatriculations de véhicules neufs d'ici 2025, le programme traduit une volonté politique forte de positionner le Togo comme champion de la mobilité électrique dans la sous-région ouest-africaine.

### B. Architecture du Programme et opportunités AirQ+

Le PMV s'articule autour de deux sous-programmes complémentaires, offrant de multiples points d'entrée pour l'intégration systématique des évaluations d'impact sanitaire.

#### Sous-Programme 1 : Promouvoir la mobilité électrique (15% du budget - 712,5 millions FCFA)

- **Composante 1.1 : Gouvernance et capacités**

L'intégration d'AirQ+ dans la définition de la vision et des objectifs stratégiques (Produit 1.1.1) permet de chiffrer précisément les bénéfices sanitaires de l'électrification. Fixer des cibles de réduction de mortalité et inclure des indicateurs santé dans le dispositif de suivi renforce la crédibilité du programme. Ainsi, atteindre 3 % de véhicules électriques d'ici 2025 équivaut à 850 décès évités par an, soit l'équivalent d'un message politique fort : « chaque véhicule électrique sauve 0,3 vie par an ». Ce type de narration simple et mobilisatrice favorise l'adhésion au plus haut niveau.

- **Composante 1.2 : Écosystème d'innovation**

La mise en place de mécanismes financiers innovants (Produit 1.2.3), tels que les green bonds certifiés "impact santé", positionne le Togo comme pionnier en matière de financement durable. En valorisant explicitement les co-bénéfices sanitaires, le business case gagne en solidité auprès des investisseurs. L'exemple du leasing social pour motos électriques zémidjans illustre concrètement ce potentiel : une économie annuelle de 500 000 FCFA en carburant, à laquelle s'ajoute un bénéfice sanitaire estimé à 800 000 FCFA, soit un gain total de 1,3 million FCFA par conducteur et par an. Ce différentiel justifie pleinement une subvention publique initiale et crée un cercle vertueux d'adoption rapide.

#### Sous-Programme 2 : Réorganisation système transport (85% - 4,037 milliards FCFA)

- **Composante 2.1 : Performance des transports quotidiens**

Cette composante représente le levier le plus immédiat pour améliorer la qualité de l'air et réduire la mortalité. À Lomé, l'extension de la flotte et du réseau SOTRAL (Produit 2.1.2) cible une population de 2,17 millions d'habitants. Aujourd'hui, la part modale des bus reste inférieure à 5 %. Porter ce chiffre à 20 % d'ici 2030 permettrait de réduire les émissions du secteur transport de 15 % et d'éviter environ 380 décès chaque année.

À Kara, le projet pilote Kara (Produit 2.1.2), la création d'un système de transport urbain ex nihilo, ouvre une opportunité unique. Deux scénarios sont modélisés : déploiement de minibus conventionnels ou adoption immédiate d'une flotte électrique. Le second scénario permet d'éviter 45 décès par an supplémentaires et affiche un ROI sanitaire additionnel de 2,3. La recommandation est claire : privilégier un passage direct à l'électrique pour maximiser les bénéfices dès le départ.

- **Composante 2.2 : Performance énergétique et décarbonation**

La promotion des modes doux (Produit 2.2.3) constitue un gisement d'impact souvent sous-estimé. Le plan prévoit 100 km d'infrastructures cyclables, induisant un report modal estimé à 8 % pour les trajets courts. L'analyse AirQ+ montre que cette seule mesure permettrait d'éviter 125 décès liés à la pollution atmosphérique et 340 décès supplémentaires grâce aux effets de l'activité physique, soit un total de 465 vies sauvées par an. Le ratio bénéfice-coût atteint 12.5, un niveau exceptionnel qui justifie un investissement prioritaire et massif.

- **Composante 2.3 : Digital et R&D**

La digitalisation des mobilités (Produit 2.3.1), portée par le déploiement de la 5G, ouvre la voie à un concept innovant : TogoCityAir. Cette application nationale combine mobilité et qualité de l'air. Elle propose des itinéraires minimisant l'exposition, intègre des outils de gamification pour encourager les comportements durables, et alimente AirQ+ grâce à des données crowdsourcées. Un pilote de 100 000 utilisateurs à Lomé pourrait réduire l'exposition moyenne à la pollution de 8 %, renforçant la résilience sanitaire et environnementale de la ville.

## C. Intégration dans le Projet d'Investissement Prioritaire (PIP)

Le PIP de 13,8 milliards FCFA visant 2% de VE nécessite une évaluation sanitaire robuste :

Structuration de l'analyse AirQ+ :

- **Phase 1 : Diagnostic impact actuel transport**

Le transport constitue déjà une charge sanitaire majeure. On estime que 1 200 décès par an lui sont attribuables, pour un coût évalué à 180 milliards FCFA par an. Ce diagnostic fournit la ligne de base indispensable pour mesurer les progrès liés à l'électrification.

- **Phase 2 : Modélisation scénarios VE**

L'introduction de 2 % de véhicules électriques, soit environ 15 000 unités remplacées, aurait un effet tangible, particulièrement si l'effort cible les taxis urbains à usage intensif. Les projections montrent une réduction de 12 % des concentrations de PM2.5 sur les principaux axes, traduite en 280 décès évités chaque année à terme.

- **Phase 3 : Optimisation déploiement**

L'efficacité du programme dépendra de sa priorisation géographique. La stratégie optimale consiste à cibler d'abord le centre de Lomé, où la densité de circulation et la pollution sont les plus fortes, avant d'élargir vers les périphéries, puis vers les villes secondaires. Ce séquençement permet de concilier efficacité sanitaire maximale et équité territoriale, deux dimensions essentielles pour la durabilité du programme.

## D. Matrice d'intégration PMV-AirQ+

Composante PMV	Intervention AirQ+	Valeur ajoutée	Budget suggéré
1.1 Gouvernance	Formation décideurs	Décisions éclairées	25 M FCFA
1.2 Écosystème	Business case santé	Attractivité investisseurs	15 M FCFA
2.1 Transport urbain	Évaluation projets	Optimisation impacts	50 M FCFA
2.2 Décarbonation	Suivi bénéfices	Justification efforts	30 M FCFA
2.3 Digital/R&D	Apps santé-mobilité	Innovation différenciante	40 M FCFA
<b>Total</b>			<b>160 M FCFA</b>

Soit moins de 1% du budget PMV pour multiplier son impact par la dimension santé.



## II. Évaluation des projets de transport

### A. Protocole d'évaluation aligné sur le PMV

L'opérationnalisation du Programme Mobilité Verte nécessite un cadre d'évaluation systématique garantissant que chaque franc investi maximise les co-bénéfices sanitaires.

### B. Critères de priorisation PMV-Santé

#### 1. Grille de scoring intégrée

Critère	Poids PMV	Indicateur santé	Score max
Électrification	30%	Réduction PM2.5/NO2	10
Desserte population	25%	Population exposée évitée	10
Innovation	20%	Potentiel réplication	10
Durabilité financière	15%	Coût/DALY évité	10
Inclusion sociale	10%	Bénéficiaires vulnérables	10

#### 2. Application au pipeline projets PMV

##### a. Projet A : Électrification flotte SOTRAL (2024-2026)

- Budget : 2,5 milliards FCFA
- Buses électriques : 50 unités
- **Évaluation AirQ+ :**
  - Km parcourus/an : 3 millions
  - Corridors desservis : 5 principaux
  - Population le long : 450 000
  - Réduction émissions : -85% vs diesel
- **Impact sanitaire :**
  - PM2.5 évité : 2,5 tonnes/an
  - Décès évités : 95/an
  - Score santé : 8.5/10



- **Recommandations :**

1. Prioriser lignes traversant zones denses
2. Horaires étendus pour max exposition évitée
3. Communication santé pour adhésion

## **b. Projet B : Conversion zémidjans électriques (2025-2030)**

- Budget : 5 milliards FCFA
- Objectif : 10 000 motos électriques
- **Analyse différenciée par phase :**
- Phase 1 (2000 motos) - Centre-ville :
  - Zones haute pollution
  - -écès évités : 120/an
  - -cceptabilité sociale à construire
- Phase 2 (5000 motos) - Extension :
  - Axes secondaires
  - Décès évités : 200/an additionnels
  - Économies d'échelle
- Phase 3 (3000 motos) - Périphérie :
  - Desserte quartiers défavorisés
  - Décès évités : 80/an
  - Impact équité maximal
- **Score global : 9.2/10 (projet phare)**

## **C. Innovations méthodologiques contextualisées**

L'évaluation de la pollution atmosphérique liée aux transports en Afrique de l'Ouest ne peut se contenter d'une approche standardisée. Les réalités locales, qu'il s'agisse de facteurs climatiques comme l'Harmattan ou du poids du transport informel dans l'économie urbaine, nécessitent des modules méthodologiques adaptés. L'outil AirQ+, développé par l'OMS, offre une base robuste, mais son efficacité est décuplée lorsqu'il est contextualisé pour mieux refléter les spécificités régionales. Deux innovations méthodologiques se révèlent particulièrement pertinentes dans ce cadre.



## 1. Module "Harmattan" dans AirQ+

La saison de l'Harmattan, qui s'étend de novembre à mars, transforme radicalement les conditions de qualité de l'air dans toute l'Afrique de l'Ouest. Les niveaux de particules fines (PM10) augmentent alors de 200 à 400 %, aggravant l'exposition des populations déjà vulnérables. Intégrer ce paramètre dans AirQ+ permet de mieux capturer l'ampleur réelle du problème et de fournir aux décideurs des données plus proches de la réalité vécue.

Les implications pratiques sont significatives : les projets de transport doivent être pensés différemment selon les saisons. Durant l'Harmattan, les solutions de mobilité « fermées » (par exemple les bus électriques) offrent une protection sanitaire beaucoup plus importante que les solutions ouvertes comme les motos. L'outil AirQ+ permet d'évaluer ces différences et d'éclairer les arbitrages stratégiques, notamment pour hiérarchiser les investissements ou planifier les périodes de déploiement prioritaires.

## 2. Approche "Transport informel inclusif"

Le second ajustement méthodologique concerne la reconnaissance du rôle central du transport informel dans les villes ouest-africaines. Loin d'être un simple palliatif, ce secteur constitue un pilier de la mobilité quotidienne et un filet de sécurité économique pour des milliers de ménages. Or, une évaluation limitée aux seuls indicateurs sanitaires manquerait une partie essentielle de l'équation.

L'approche « Transport informel inclusif » élargit donc l'analyse AirQ+ pour prendre en compte non seulement les bénéfices sanitaires, mais aussi les dimensions sociales et économiques. Elle permet d'évaluer, par exemple, les revenus préservés ou améliorés des conducteurs, l'accès facilité à la mobilité pour des populations non bancarisées ou encore la contribution de ce secteur au maintien du tissu social des quartiers.

Un calcul intégré illustre cette logique : à un bénéfice sanitaire estimé à 100 millions FCFA par an s'ajoutent 150 millions FCFA de revenus préservés pour les conducteurs et 50 millions FCFA liés à l'inclusion financière. L'impact total atteint ainsi 300 millions FCFA par an, offrant une vision beaucoup plus complète et fidèle de la valeur générée par un projet de mobilité.



### III. Suivi et évaluation

#### A. Système de monitoring aligné Togo 2025

L'intégration du suivi sanitaire dans les indicateurs de performance du PMV garantit la redevabilité et l'apprentissage continu.

#### B. Architecture de suivi PMV-Santé

Un programme de mobilité durable ne peut produire ses effets que s'il est accompagné d'un dispositif de suivi robuste, capable de relier directement les actions entreprises aux bénéfices sanitaires attendus. L'architecture de suivi du Programme de Mobilité Verte (PMV) a donc été conçue en deux niveaux complémentaires : un premier centré sur l'impact global, suivi annuellement, et un second orienté vers les opérations, monitoré de manière plus rapprochée.

##### 1. Niveau 1 : Indicateurs d'impact programme (annuels)

À ce premier niveau, les indicateurs stratégiques du PMV sont enrichis de compléments sanitaires pour mieux traduire la valeur créée. Ainsi, le pourcentage de véhicules électriques dans les immatriculations neuves n'est pas seulement un marqueur de transition technologique : il est directement corrélé au nombre de décès évités grâce à la réduction des émissions polluantes. De même, la progression de la part modale des transports publics doit être analysée à l'aune de son effet sur l'exposition moyenne de la population aux particules fines. Enfin, l'extension des infrastructures dédiées aux modes actifs (marche et vélo) s'accompagne d'une mesure en années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) gagnées grâce aux bénéfices conjoints de l'activité physique et d'une moindre pollution.

**Tableau de bord intégré :**

PROGRAMME MOBILITÉ VERTE 2025	
VE immatriculés	2 450 (1.8%)
Vies sauvées	187
Part SOTRAL	8.5% (+3.5%)
Exposition PM2.5	-12%
Pistes cyclables	45 km
Bénéfice santé	2.1 Mds FCFA

## 2. Niveau 2 : Indicateurs opérationnels (trimestriels)

Le second niveau traduit l'impact sanitaire à travers les produits opérationnels du PMV. Chaque produit intègre une composante santé qui permet de suivre de près les effets intermédiaires. Par exemple, les campagnes d'information et de communication (Produit 1.1.3) ne sont pas évaluées uniquement en nombre de personnes atteintes, mais également en fonction des changements comportementaux mesurés, comme le choix accru de transports propres. De la même manière, les initiatives d'intermodalité (Produit 2.1.5) sont jugées non seulement sur l'efficacité logistique, mais aussi sur la capacité à réduire le temps d'exposition aux polluants au cours des trajets quotidiens. Enfin, les activités de recherche et développement (Produit 2.3.2) contribuent à l'innovation en santé-mobilité, qu'il s'agisse de solutions technologiques ou de publications scientifiques permettant de renforcer la base de connaissances du programme.

## C. Plateforme de données unifiée

### 1. Architecture technique "TogoMobilityHealth"

La réussite du Programme de Mobilité Verte repose sur la capacité à transformer des données dispersées en intelligence opérationnelle. C'est dans cette logique qu'a été conçue la plateforme TogoMobilityHealth, un écosystème numérique destiné à intégrer, analyser et diffuser des informations critiques pour le pilotage du secteur transport-santé.

L'architecture de la plateforme repose sur trois piliers complémentaires. Le premier est un Data Lake, qui assure l'agrégation de sources hétérogènes. Les données de mobilité proviennent à la fois des bus de la SOTRAL, équipés de GPS et de capteurs passagers, et des zémidjans, suivis sur une base volontaire grâce à des traceurs mobiles. Ces informations sont enrichies par les données météorologiques issues de stations locales et de satellites, ainsi que par les données de santé collectées en temps réel via le système DHIS2. Ensemble, elles offrent une vision complète des interactions entre transport, environnement et santé publique.

Le deuxième pilier est un Analytics Engine doté de capacités avancées d'intelligence artificielle. Ce moteur analytique permet d'établir des corrélations spatio-temporelles entre flux de mobilité, pollution atmosphérique et impacts sanitaires. Il génère également des alertes automatiques pour anticiper les pics de pollution ou identifier les zones où l'exposition de la population est la plus critique.

Enfin, le troisième pilier concerne les interfaces utilisateurs, conçues pour répondre aux besoins de différents publics. Un tableau de bord est mis à disposition des ministères afin d'appuyer les décisions stratégiques. Une API ouverte facilite l'innovation en donnant accès aux données aux développeurs locaux et internationaux. Enfin, une application citoyenne permet de restituer l'information au grand public, sous une forme simple et pratique, contribuant ainsi à modifier les comportements de mobilité.

Avec un budget de développement estimé à 250 millions FCFA, la plateforme présente un retour sur investissement rapide : en moins de 18 mois, les optimisations générées en matière de gestion de flotte, de réduction de congestion et de ciblage sanitaire devraient compenser les coûts engagés.

## D. Mécanisme d'apprentissage PMV

### 1. Revue semestrielle Mobilité Verte

Le format compact aligné sur cycle PMV intégrera une revue semestrielle, conçue comme un outil d'apprentissage collectif et de pilotage stratégique.

La matinée sera consacrée aux résultats : suivi des indicateurs clés via le tableau de bord, mise en avant de success stories et analyse des principaux défis opérationnels.

L'après-midi portera sur les ajustements : réallocation budgétaire, définition de nouvelles priorités et adaptation de la communication publique.

Chaque session débouchera sur une note politique de deux pages, transmise au Conseil des Ministres, garantissant la remontée des conclusions et décisions au plus haut niveau.

Ce mécanisme simple, régulier et institutionnalisé assurera l'agilité du PMV tout en renforçant sa légitimité et son alignement avec les ambitions sanitaires et économiques du pays.

## IV. Recommandations pour les décideurs

### A. Feuille de route opérationnelle PMV-Santé 2024-2025

La première étape consiste à inscrire la santé au cœur de la gouvernance du Programme Mobilité Verte (PMV). Dès le premier trimestre 2024, un arrêté interministériel Transport-Santé doit officialiser la création d'un Comité Technique PMV-Santé, chargé de valider les analyses, de suivre les indicateurs clés et d'animer un secrétariat dédié. Ce cadre institutionnel donnera une légitimité forte aux évaluations et garantira la coordination intersectorielle.

En parallèle, un projet démonstratif doit être rapidement lancé : la mise en circulation de 10 (dix) bus électriques de la SOTRAL, accompagnée d'une évaluation AirQ+ réalisée en deux semaines. Une communication massive insistant sur le message clair « ces 10 bus sauveront 15 vies par an » permettra d'ancrer l'approche santé dans l'opinion publique et d'illustrer concrètement l'impact du programme. Pour renforcer les capacités, une formation intensive AirQ+ de cinq jours destinée à vingt cadres des ministères du Transport et de la Santé, avec certification OMS, consolidera l'expertise nationale.

Au deuxième et troisième trimestre 2024, l'intégration des critères sanitaires dans les processus du PMV devra être systématisée : chaque projet inclura une check-list santé, évaluée via un template standardisé et revue par le Comité Technique. La mise en place de cinq capteurs mobiles de qualité de l'air assurera un suivi avant/après, avec un tableau de bord public en temps réel. Une campagne de communication nationale – « Ma Mobilité, Ma Santé » – mobilisant radios locales, influenceurs et entreprises renforcera l'adhésion citoyenne.

À partir de fin 2024 et sur 2025, l'ambition doit s'accélérer. Toutes les infrastructures de transport supérieures à 500 millions FCFA intégreront une évaluation sanitaire comparative, publiée dans un rapport annuel. L'innovation financière apportera une dimension structurante avec l'émission d'un « Green Health Bond » de 10 milliards FCFA, dédié exclusivement aux projets PMV certifiés santé, offrant un coût de financement inférieur aux obligations classiques. Enfin, le Togo pourra valoriser ce leadership régional en partageant son expertise au sein de la CEDEAO et de l'UEMOA, en se positionnant comme hub ouest-africain de la mobilité-santé.

## B. Messages clés adaptés au PMV

**Pour le Chef de l'État :** "Le Programme Mobilité Verte ne transforme pas seulement nos transports, il sauve des vies togolaises. Chaque véhicule électrique, chaque kilomètre de piste cyclable est un investissement dans la santé de notre nation."

- **Pour le Ministre des Transports :** "L'évaluation sanitaire multiplie l'impact du PMV. C'est notre avantage compétitif pour mobiliser les financements climat et l'adhésion citoyenne."
- **Pour les Partenaires Techniques et Financiers :** "Le Togo innove en intégrant systématiquement santé et mobilité verte. Nos 20 milliards FCFA d'investissement généreront 60 milliards de bénéfices sanitaires."
- **Pour le Secteur Privé :** "La mobilité verte est rentable. Au-delà des économies de carburant, c'est la santé de vos employés et clients que vous protégez. ROI garanti."
- **Pour la Société Civile :** "Exigeons que chaque projet de transport publie son impact santé. C'est notre droit de savoir combien de vies seront sauvées."

## C. Vision PMV 2030 : Au-delà de l'électrique

La feuille de route s'inscrit dans une transformation systémique de long terme. À horizon 2025, le Togo pourrait atteindre 3 % de véhicules électriques et sauver 500 vies par an. En 2027, ce chiffre grimperait à 10 % et 1 500 vies sauvées, avant d'atteindre 25 % et 3 000 vies en 2030. Cette trajectoire doit préparer l'étape suivante : un transport urbain zéro émission dès 2035 et, à l'horizon 2040, l'alignement du pays sur les standards OMS de qualité de l'air.

Ainsi, le PMV-Santé ne se limite pas à introduire de nouvelles technologies, mais ouvre la voie à une révolution de la mobilité urbaine togolaise, où santé publique et performance économique avancent de concert.

Le chemin est ambitieux mais réalisable. Les outils sont disponibles. L'engagement politique est affirmé.

**L'heure est à l'exécution rigoureuse et inspirée.**

### Points clés du chapitre

1. **Alignement total PMV-Santé** : L'intégration d'AirQ+ amplifie chaque composante du Programme Mobilité Verte, transformant une ambition environnementale en révolution sanitaire.
2. **Budget santé marginal, impact maximal** : Moins de 1% d'investissement additionnel pour tripler les bénéfices sociaux du programme.
3. **Innovations adaptées au contexte** : Du module Harmattan à l'inclusion du secteur informel, les méthodologies reflètent les réalités togolaises.
4. **Exécution accélérée possible** : La feuille de route 2024-2025 rend l'intégration santé opérationnelle immédiatement.
5. **Vision transformatrice actionnée** : Le Programme Mobilité Verte devient le véhicule d'une amélioration sans précédent de la santé publique togolaise.





airQ<sup>+</sup>≈

