



IMPACTS DES DIOXYDES DE SOUFRE (SO₂) ET D'AZOTE (NO₂) SUR L'AIR AMBIANT A BAMAKO

Bakary DAGNO

Docteur en Contrôle et Protection de l'Environnement

Mahamadou CISSE

Docteur en Développement Local

Modibo Zoumana COULIBALY

Institut National de Formation des Travailleurs Sociaux

Mountaga DJIRE

Doctorant à l'EDDESSLA de Bamako

Moussa Keiffing KANTE

Maître de Conférences

Ecole Normale Supérieure (ENSup) de Bamako-Mali

This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) license.



Résumé: l'étude s'intitule : « impacts des dioxydes de soufre (SO₂) et d'azote (NO₂) sur l'air ambiant à Bamako ». L'objectif fondamental de cette recherche est d'analyser les impacts des dioxydes de soufre (SO₂) et d'azote (NO₂) sur l'air ambiant à Bamako. La méthode qualitative a été adoptée. Elle a consisté à faire la recherche documentaire et à

élaborer les guides d'entretien. Ainsi, des guides d'entretien ont été adressés à la Direction Nationale de l'Assainissement de Contrôle de Pollution et des Nuisances (DNACPN), et à l'Agence pour l'Environnement et le Développement Durable (AEDD). Les entretiens ont duré trois heures. Trois campagnes de prélèvements qui ont été réalisées. L'échantillonnage aléatoire simple a été utilisé, sur 32 sites avec un pas de sondage, 10/32 soit 1/3. Le Global Positioning System (GPS), le capteur: aeroqual série 500, SPSS, Excel et World ont été utilisés.

Les recherches ont révélé que le NO₂, pendant la journée du 19 janvier, est très faibles. Mais, le SO₂ est présent en quantité très élevée sur plusieurs sites dont la plus grande valeur d'immission a été enregistrée à l'intersection Alqoods (81,84µg/m³). Pendant la journée du 10 mai, les dioxydes de soufre et d'azotes ont demeurés nuls. Lors des prélèvements de la journée du 28 avril, le dioxyde d'azote est présent en quantité suffisante surtout les sites. Mais, le SO₂ est près que insignifiant. Enfin, les prélèvements, de la journée du 8 aout les polluants montrent des concentrations non négligeables surtout le dioxyde d'azote.

Pour atténuer la pollution de l'air par les dioxydes, il faudrait non seulement revoir les textes d'importation des carburants, mais aussi, appliquer les textes nationaux en la matière sensibiliser les populations des dangers.

Keywords: impacts ; dioxydes ; soufre ; azote » ; air ambiant à Bamako

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.11660939>

1. INTRODUCTION

La croissance démographique soutenue et l'exode rural massif ont entraîné une forte l'urbanisation qui a favorisé l'accroissement des transports entraînant ainsi une augmentation très rapide de la pollution urbaine (DOUMBIA EHT, 2012). L'Organisation des Nations-Unies (ONU) a adopté, en septembre 2015, l'agenda 2030 qui envisage la mise en œuvre des Objectifs de Développement Durable (ODD), parmi lesquels : veiller à une bonne qualité de l'air s'applique à la thématique des villes et communautés (BODART, O., 2020).

Les vieilles voitures n'étant pas équipées de technologies récentes requises pour limiter les rejets des composants les plus nocifs tels que : dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, les particules fines, le monoxyde de carbone, le plomb, etc., constituent certes une sérieuse menace pour la qualité de l'air dans les villes ouest africaines (DOUMBIA EHT, 2012).

Cependant, dans le monde, la pollution de l'air a des effets désastreux sur l'homme ainsi que sur l'environnement. Les impacts sont plus élevés dans les milieux urbains que dans les milieux ruraux. Ensuite, en 2016, elle a reconnu que la pollution de l'air avait un effet sur le développement du diabète, de troubles cardio-vasculaires ou de maladies du système reproductif. Alors, l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) évalue ses conséquences en France à environ 47 000 décès prématurés tous les ans pour le seul effet des trois principaux polluants (particules, dioxyde d'azote et ozone) (Cour des Comptes, 2020). En ce qui concerne l'Afrique, la pollution de l'air peut causer au moins 780 000 décès prématurés par an en Afrique (BAUER E. et al., 2019) et un nombre important de maladies sont connues pour être aggravées par une exposition chronique à la pollution de l'air, comme l'asthme, le cancer du poumon et la maladie pulmonaire obstructive chronique (BURNETTA R. et al, 2018). Le Ministère de la santé suppose que la pollution de l'air soit l'une des causes de l'augmentation des Infections Respiratoires Aigues (IRA) à Bamako et un tiers (1/3) des décès imputables aux principales Maladies Non Transmissibles (MNT) telles que : l'Accident Vasculaire Cérébral (AVC), le cancer du poumon qui sont dus à la pollution de l'air. Les conséquences sur la santé sont plus graves chez les femmes, les enfants, les personnes âgées et les pauvres (Banque Mondiale, 2011). Ainsi, depuis plusieurs années, des efforts ont été réalisés afin de réduire la pollution atmosphérique et de limiter également les rejets des polluants. Tels que la promotion des sources énergétiques renouvelables qui est largement envisagée par les gouvernements de divers pays, dont celui du Mali, à travers le décret n° 01-397/PRM du 06 septembre 2001, fixant les modalités de gestion des polluants de l'atmosphère (Présidence de la République, 2001). Il se trouve qu'aujourd'hui, à cause des activités humaines, notamment, l'industrie, l'agriculture, l'élevage, le transport, ces éléments sont sérieusement menacés. L'air que nous respirons est indispensable à la survie des êtres vivants. Mais, à cause de certaines activités anthropiques, la qualité de l'air est impactée négativement par l'introduction des polluants tels que : le dioxyde d'azote (NO₂), dans l'air.

Face à l'accroissement rapide de la population urbaine qui est estimée à 2 817 000 habitants en 2022, soit une augmentation de 3,83 % par rapport à 2021 et l'accroissement accéléré du parc véhiculaire qui est passé de 343 904 en 2019 à 371 941 en 2020 soit une augmentation de 7,53% et à 405 937 en 2020, soit une augmentation de 8,37%, suite à l'ouverture du pays aux véhicules d'occasions d'Europe, la ville de Bamako est confrontée à une détérioration croissante de la qualité du cadre de vie dûe aux problèmes environnementaux tels que la pollution de l'air par les dioxydes d'azote et de soufre. L'air n'intervient pas dans

l'alimentation des êtres, mais, c'est un élément de grande importance pour les êtres. Par exemple, l'homme peut vivre quelques jours sans nourriture et sans eau, mais, ne peut faire quelques minutes sans air. Donc, 0,5 litre d'air emmagasiné à chaque inspiration, 16 inspirations / minute (respiration au repos) et le volume d'air est égal à 11,5 m³ (soit 13,5 kg) / jour. Les volumes d'air inspirés au repos est de 0,5 m³/h mais en activité, il s'élève à 1,2 m³/h. (Thierry Billard , février 2017). L'atmosphère terrestre est une mince couche de gaz ou un mélange gazeux entourant la terre. Elle est composée d'environ 78% d'azote, 21% d'oxygène et 1% d'autres gaz (y compris de l'argon, de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone et de l'ozone) (Aymeric SPIGA, Année universitaire 2013-2014). Le champ de pesanteur, orienté selon la verticale, a tendance à organiser l'atmosphère en couches stratifiées verticalement, dont les limites ont été définies selon les discontinuités dans les variations de température, en fonction de l'altitude (Florian VENDEL, 12 avril 2011).

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches qui sont la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et exosphère. En plus de celles-ci, il existe d'autres couches atmosphériques qui sont définies non pas à partir de la température mais à partir des propriétés électriques de l'atmosphère terrestre. Il s'agit de l'ionosphère et magnétosphère.

Le dioxyde de soufre est un gaz sans couleur et ininflammable avec une odeur pénétrante qui irrite les yeux et les voies respiratoires. Il est soluble dans l'eau et peut être oxydé dans les gouttelettes d'eau portées par le vent. Le dioxyde de soufre provient principalement de la combustion des combustibles fossiles, au cours de laquelle les impuretés soufrées contenues dans les combustibles sont oxydées par l'oxygène de l'air O₂ en dioxyde de soufre SO₂ (Actu-environnement, s.d.). L'origine de ce polluant, gazeux et incolore, qui se signale par une odeur forte, désagréable et suffocante à fortes concentrations. Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz incolore qui dégage une odeur semblable à celle d'allumettes consumées. Combiné à l'oxygène, il se transforme en anhydride sulfurique qui, conjugué à l'eau atmosphérique, forme un brouillard d'acide sulfurique. Le processus d'oxydation peut aussi entraîner la formation d'un aérosol d'acide sulfurique. Le dioxyde de soufre est le précurseur des sulfates, principales composantes des particules en suspension respirables dans l'atmosphère (CAMARA Fodie Sidi, 24 juin 2014). Ce polluant est ainsi rejeté par de multiples sources domestiques ou industrielles : installations de chauffage domestique, véhicules à moteur diesel, centrales de production électrique ou de vapeur, chaufferies urbaines, raffineries de pétrole, métallurgie de métaux non ferreux... Ce gaz peut être d'origine naturelle : les

éruptions volcaniques représentent dans certaines régions du monde une part très importante des rejets en dioxyde de soufre (NDONG A., 25 janvier 2019).

Parmi les nombreux oxydes d'azote existants dans l'atmosphère, le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂ sont les plus impliqués dans les mécanismes de pollution atmosphérique. Ce sont ces deux polluants que l'on désigne communément sous le terme d'oxydes d'azote (Gouvernement canadien, 2013).

Le monoxyde d'azote (NO) est un gaz incolore et inodore à température ambiante. Instable au contact de l'air, il se transforme en dioxyde d'azote (NO₂). Le dioxyde d'azote (NO₂) est un gaz de couleur rouge brun et d'odeur très irritante. Il est hydrosoluble et donne par réaction avec l'eau, l'acide nitreux (HNO₂) et l'acide nitrique (HNO₃). Le monoxyde d'azote (NO) se forme par combinaison du diazote (N₂) avec le dioxygène (O₂) atmosphériques, lors des combustions à haute température. Ce polluant est donc émis par les installations de chauffage des locaux, les centrales thermiques de production électrique, les usines d'incinération et les automobiles (NDONG A., 25 janvier 2019). Il participe aussi aux réactions atmosphériques qui produisent l'ozone au sol (CAMARA Fodie Sidi, 24 juin 2014).

Le NO₂ peut irriter les poumons et diminuer la défense contre les infections des voies respiratoires. Sont plus sensibles les personnes souffrant d'asthme et de bronchite. Le NO₂ se transforme, par voie chimique, en acide nitrique dilué qui, ramené au sol, contribue à l'acidification des lacs. Le NO₂ agresse également les matériaux (corrosion de métaux, décoloration des tissus, dégradation du caoutchouc) et cause des dégâts aux arbres et aux cultures. (CAMARA Fodie Sidi, 24 juin 2014). Le District de Bamako se situe parmi les villes, les plus polluées, notamment, par des particules et les gaz comme le NO₂ (Journal Scientifique et Technique du Mali, 2016). En Europe, la lutte contre cette pollution est intégrée dans la politique publique qui est structurée au niveau national et dispose d'une direction pilote au sein du ministère de la transition écologique. Les mesures telles que les bonus-malus ainsi que les taxes sur l'essence (BRENN L., 2010). Il existe actuellement des solutions concrètes qu'il est possible de mettre en place : le véhicule hybride et le véhicule électrique qui est sans aucun doute une solution viable pour substituer le véhicule à essence (BRENN L., 2010). En Afrique, précisément au Sénégal, Dakar s'est doté de cinq stations fixes de mesure de la pollution de l'air réparties à travers la ville de Dakar (NDONG A., 2019). La sensibilité à cette problématique et l'ampleur du phénomène ont cependant évolué au fil du temps, devenant aujourd'hui un enjeu environnemental. L'objectif de ce travail de recherche

est d'analyser les impacts des dioxydes de soufre (SO₂) et d'azote (NO₂) sur l'air ambiant à Bamako. Ainsi, les questions spécifiques suivantes ont été formulées:

- Quelles sont les niveaux de concentrations de dioxydes de soufre et d'azote d'air ?
- Quels sont leurs effets sur santé publique ?
- Quelles sont les propositions de solutions ?

2. Matériels et méthodes

Située entre les 12°29'57'' et 12°42'17'' de latitude nord et 7°54'22'' et 8°4'6'' de longitude ouest, la ville de Bamako s'est développée dans la vallée du plus grand fleuve de l'Afrique de l'Ouest. Le District de Bamako regroupe six communes dont les quatre premières sont situées sur la rive gauche et les deux dernières sur la rive droite du fleuve Niger. La ville a vu sa population augmenter rapidement depuis l'indépendance à nos jours. Les transformations socio-économiques expliquent la forte consommation d'espaces. (DIALLO, B. et al. , 2020)

Le District de Bamako regroupe six communes dont les quatre premières sont situées sur la rive gauche et les deux dernières sur la rive droite du fleuve Niger (DIALLO, B. et al. , 2020).

Le District est grossièrement composé de deux parties:

- au Nord : entre le fleuve Niger et le mont Manding dans une plaine alluviale longue de 15 km. Cette partie couvre 7 000 hectares et est rétrécie aux deux extrémités.
- au Sud : la rive droite est un site couvrant 12 000 hectares.

Le District s'étend sur 22 km d'Ouest en Est et sur 12 km du nord au Sud. Le District de Bamako est la capitale du Mali (Consult STEP, Mai 2018). En 2022, la population de Bamako est estimée à 2 817 000 d'habitants (DNP, 2018), (carte 1).

Pour mener à bien cette recherche, nous avons adopté la méthode qualitative qui a permis de récolter abondamment d'informations dans le dessein d'atteindre l'objectif fixé.

Ainsi, nous avons élaboré des guides d'entretien qui ont été adressés au chef de division de la Direction Nationale de l'Assainissement de Contrôle de Pollution et des Nuisances, et l'Agence pour l'Environnement et le Développement Durable. Les entretiens ont duré en tout, trois heures, sept minutes. En ce qui concerne les PM, nous avons mené trois campagnes de prélèvements, allant de janvier 2022 en août 2022, des cinq polluants identifiés. Ces campagnes ont été réalisées pendant trois mois, compte tenu de la variation des variables choisies. Elles ont concerné pendant les mois, la journée du 19 janvier 2022, la journée du 28 avril 2022, la journée du 10 mai 2022 et la journée du 8 août 2022. Les mois de janvier et aout ont concerné les deux rives, le mois d'avril la rive droite, et le mois de mai la rive gauche.

Les prélèvements ont été effectués sur 10 sites dans le District de Bamako. Notre étude devant se porter sur 10 sites répartis entre les 06 Communes du District de Bamako. Pour avoir les différents échantillons, nous avons procédé par un échantillonnage aléatoire simple. Dans cette liste constituée de 32 sites avec un pas de sondage, 10/32 soit 1/3.

Nous avons utilisé : le Global Positioning System (GPS), le capteur: aeroqual série 500 ou moniteur portatif de la qualité de l'air série 500 en utilisant la tête de servant à capter dans l'atmosphère : NO₂

Photo 1: aeroqual série 500 ou moniteur portatif de la qualité de l'air série 500.



Source: cliché personnel, janvier 2022

- la tête de servant à capter dans l'atmosphère : le dioxyde d'azote (NO₂)

Photo 4: tête servant à capter dans l'air le dioxyde d'azote (NO₂)



Source : cliché personnel, janvier 2022

Photo 3: tête servant à capter dans l'atmosphère de dioxyde de soufre (SO₂)



Source : cliché personnel, janvier 2022

Après la collecte des informations, nous avons procédé à la codification et les données ont été saisies à l'aide du logiciel SPSS, puis, l'établissement des tableaux dans le logiciel Excel, suivis de commentaires. Le logiciel Zotero a été utilisé pour faciliter l'élaboration de la bibliographie et avons fait recours à des écrits réalisés sur la thématique. Ainsi, la recherche documentaire nous a conduit à la bibliothèque nationale, à celles de l'Ecole Normale Supérieure de Bamako, en plus des sites Internet.

3. Résultats

3.1. Niveaux de concentrations de dioxyde d'azote dans l'air ambiant à Bamako

- Concentration de dioxydes d'azote et soufre pendant la journée du 19 janvier 2022

Pendant la journée du 19 janvier 2022, les prélèvements concernent les deux rives du District de Bamako. Sur les différents sites, les polluants présentent des concentrations non négligeables (tableau 1).

Tableau 1: état du dioxyde d'azote sur les deux rives du District de Bamako

Polluant	NO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Rond-point Woyowayanko	0	32
Rond6point de la place de l'indépendance	11,86	32
Intersection Alqoods	0	34
Tournant Banconi	0	34
Intersection Malilaita	0	33
Intersection lycéeKankou Moussa	21,34	25
Entrée auto-gare	23,72	25
Tour de l'Afrique	11,86	28
Intersection feu Kalabancoura	3,55	28
intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	0	30

Source : enquêtes personnelles, 2022 *Norme de l'OMS : 25 µg/m³ pendant 24 heures*

Dans ce tableau, le NO₂, du 19 janvier 2022 sur les différents sites, avec une température oscillant entre 25 et 34°C, il apparaît très clairement que l'entrée à l'auto-gare enregistre la plus grande concentration avec 23,72µg/m³, suivi de l'intersection du lycée Kankou Moussa à Daoudabougou avec 21,34µg/m³, de la place de l'indépendance et la Tour de l'Afrique avec 11,86µg/m³, pour chacun de site, et de l'intersection feu Kalabancoura avec 3,55µg/m³. Le polluant demeure nul sur les autres sites. Il est important de noter qu'aucun site n'enregistre de concentration surpassant la norme de l'OMS fixée à 25 µg/m³ (tableau 2).

Tableau 2: état du dioxyde de soufre sur les deux rives du District de Bamako

Polluant	SO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Rond-point Woyowayanko	34,39	32
Rondpoint de la place de l'indépendance	53,37	32
Intersection Alqoods	81,84	34
Tournant Banconi	67,6	34
Intersection Malilaita	58,11	33
Intersection lycée Kankou Moussa	1,18	25
Entrée auto-gare	11,86	25
Tour de l'Afrique	4,74	28
Intersection feu Kalabancoura	35,58	28
intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	42,69	30

Source: enquêtes personnelles, 2022 Norme de l'OMS : 40 µg/m³ pendant 24 heures

Dans ce tableau 2, le SO₂, du 19 janvier 2022, l'intersection Alqoods (81,84µg/m³), tournant de Banconi (67,6µg/m³), l'intersection Malilait sa (58,11µg/m³), le rond-point de la place de l'indépendance (53,37µg/m³), et l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro (42,69µg/m³) enregistrent les valeurs supérieures surpassant la norme de l'OMS fixée à 40µg/m³ pendant 24 heures. Les valeurs faibles sont enregistrées sur les autres sites de prélèvements.

- Concentration de dioxydes d'azote et soufre pendant la journée du 28 avril 2022

Les prélèvements de la journée du 28 avril 2022, ne concernent que la rive droite du District de Bamako. Les polluants montrent des concentrations très significatives surtout le dioxyde d'azote (tableau 3).

Tableau 3: état du dioxyde d'azote sur la rive droite

Polluant	NO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Intersection lycée Kankou Moussa	106,74	25
Entrée auto-gare	115,05	25
Tour de l'Afrique	91,32	28
Intersection feu Kalabancoura	155,37	28
intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	142,33	30

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l'OMS : 25 µg/m³ pendant 24 heures

A l'analyse de ce tableau 3, il apparait que les prélèvements n'ont concerné que la rive droite. Le NO₂, du 28 avril 2022, sur tous les sites de passe la norme de l'OMS fixée à 25µg/m³ pendant 24 heures. Le feu de Kalabancoura enregistre la plus importante concentration de NO₂ avec 155,37µg/m³ (tableau 4).

Tableau 4: état du dioxyde de soufre sur la rive droite

Polluant	SO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Intersection lycée Kankou Moussa	0	25
Entrée auto-gare	0	25
Tour de l'Afrique	0	28
Intersection feu Kalabancoura	11,86	28
intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	0	30

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l'OMS : 40 µg/m³ pendant 24 heures

Il apparait clairement que les prélèvements n'ont concerné que la rive droite. Il ressort que le SO₂, du 28 avril 2022, au feu de Kalabancoura, atteint 11,86 µg/m³. Sur les autres sites, le polluant demeure nul. Le SO₂ ne dépasse la norme de l'OMS sur aucun des sites

- Concentration de dioxydes d'azote et soufre pendant la journée du 10 mai 2022

Les prélèvements de la journée du 10 mai 2022, ne concernent que la rive gauche. Les polluants présentent des concentrations nulles (tableau 5).

Tableau 5: état d'ozone sur la rive gauche pendant la journée du 10 mai 2022

Date	10 mai 2022	
Polluant	NO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Rond-point. Woyowayanko	0	36,6
Rond-point Place Indépendance	0	37,2
Intersection Alqoods	0	37,3
Tournant Banconi	0	38
Inter. Malilait sa	0	39

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l'OMS : 25 µg/m³ pendant 24 heures

Ce tableau montre malgré la variation de la température, le dioxyde d'azote demeure nul durant toute la période de prélèvements (tableau 6).

Tableau 6: état de dioxyde de soufre sur la rive gauche

Date	10-mai-22	
Polluant	SO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Rond-point. Woyowayanko	0	36,6
Rond-point Place Indépendance	0	37,2
Intersection Alqoods	0	37,3
Tournant Banconi	0	38
Inter. Malilait sa	0	39

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l’OMS : 40 µg/m³ pendant 24 heures

Ce tableau montre malgré la variation de la température, le dioxyde de soufre est nul durant toute la période de prélèvements

- **Concentration de dioxydes d’azote et soufre pendant la journée du 8 août 2022**

Les prélèvements, de la journée du 8 août 2022, concernent les deux rives. Les polluants montrent des concentrations non négligeables surtout le dioxyde d’azote (tableau 7).

Tableau 7: état du dioxyde d’azote pendant la journée du 8 août

Polluant	NO ₂ (en µg/m ³)	Température (en °C)
Sites		
Rond-point. Woyowayanko	43,88	30
Rond-point Place Indépendance	30,83	30
Intersection Alqoods	11,86	31
Tournant Banconi	26,09	31
Intersection Malilait sa	2,37	28
Intersection lycée Kankou Moussa	15,41	27
Entrée auto-gare de Sogoniko	16,60	27
Tour de l’Afrique	32,02	27
Intersection feu Kalabancoura	52,18	28
Intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	66,42	29

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l’OMS : 25 µg/m³ pendant 24 heures

Dans le tableau 7, le NO₂, du 8 août 2022, sur les différents sites de prélèvements avec une température oscillant de 27 à 31°C, présente des concentrations variant d’un site à un autre. Il apparaît très clairement que l’intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro avec

66,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ l'intersection feu Kalabancoura avec 52,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et rond-point Woyowayanko avec 43,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ainsi que la Tour de l'Afrique avec 32,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la place de l'indépendance avec 30,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et le tournant Banconi avec 26,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrent des concentrations dépassant la norme de l'OMS fixée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les plus faibles valeurs sont enregistrées sur les autres sites. L'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro avec 66,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistre la concentration de NO_2 la plus importante et la plus faible à Intersection Malilait sa avec 2,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tableau 8).

Tableau 8: état du dioxyde de soufre pendant la journée du 8 août 2022

Polluant	SO_2 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Température (en $^\circ\text{C}$)
Sites		
Rond-point. Woyowayanko	0	30
Rond-point Place Indépendance	0	30
Intersection Alqoods	0	31
Tournant Banconi	0	31
Inter. Malilait sa	0	28
Intersection lycée Kankou Moussa	0	27
Entrée auto-gare de Sogoniko	0	27
Tour de l'Afrique	0	27
Intersection feu Kalabancoura	23,72	28
Intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro	0	29

Source : enquêtes personnelles, 2022 Norme de l'OMS : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 24 heures

Dans le tableau 8, il apparaît que les prélèvements ont concerné les deux rives du District de Bamako. Il ressort que le SO_2 , du 8 août 2022, sur le site feu de Kalabancoura atteint 23,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mais, sur les autres sites, il est nul

3.2. Effets des dioxydes d'azote et de soufre sur la santé publique

Ces différents polluants, ci-dessus étudiés dégradent la qualité de l'air ambiant et impactent gravement la santé publique (tableau 9).

Tableau 9: appréciation des enquêtés

		Effectifs	Pourcentage(en %)
Valide	Oui	147	98
	Non	0	0
	Abstention	0	0
	Ne sais pas	3	2
	Total	150	100

Source : enquêtes personnelles, 2022

A la lecture de ce tableau, il apparaît clairement que 98% des enquêtés reconnaissent que les polluants tels que les dioxydes de soufre et dioxyde d'azote ont des effets néfastes sur la santé publique et 2% des enquêtés se sont abstenus.

Selon le médecin généraliste, Namory CAMARA, interviewé le 22 septembre 2022 : « *Les polluants tels que le dioxyde de soufre, et le dioxyde d'azote ont des effets désastreux sur la santé publique. Le dioxyde de soufre est absorbé par les muqueuses des voies respiratoires supérieures, puis transporté par le sang dans tous les organes. Les asthmatiques y sont particulièrement sensibles. Le dioxyde de soufre peut aussi provoquer des irritations et des inflammations, en particulier, gastrique.*

Le dioxyde d'azote, détériore la condition respiratoire, donc augmente de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les personnes âgées, les enfants, les personnes asthmatiques et les personnes présentant l'insuffisance respiratoire sont particulièrement sensible à cette pollution. Il peut causer des brûlures sévères de la peau, des yeux et des voies respiratoires ».

Selon la (Banque Mondiale, 2011) : « *Au Mali, le Ministère de la santé suppose que la pollution de l'air soit l'une des causes de l'augmentation des Infections Respiratoires Aigües (IRA) à Bamako et un tiers (1/3) des décès imputables aux principales Maladies Non Transmissibles (MNT) telles que : l'Accident Vasculaire Cérébral (AVC), le cancer du poumon qui sont dus à la pollution de l'air. Les conséquences sur la santé sont plus graves chez les femmes, les enfants, les personnes âgées et les pauvres*».

3.3. Propositions de solutions

L'air est un élément incontournable dans la survie des êtres. L'air pur est un élément essentiel pour la santé et le bien-être de l'homme (Organisation Mondiale de la Santé, 2021). L'atmosphère protège la vie sur la terre parce qu'elle absorbe les rayons ultra-violetts du

soleil. Par conséquent, dans le District de Bamako, le comportement humain lié aux activités économiques surtout est entrain d'impacter négativement sur la qualité de l'air.

La limitation de l'âge des véhicules importés au Mali, car, il n'existe pas de l'âge limite de l'importation des véhicules. Le Mali a mis plutôt l'accent sur le frais des affaires économiques. En ce sens, plus le véhicule est âgé, plus le frais des affaires économiques est élevé. Le mieux serait de fixer un âge suite à l'expertise des experts dans le domaine et l'adoption d'une loi relative à l'âge du véhicule.

La recherche du carburant de qualité, cela entraînera une réduction de la teneur du carburant ensoufre. Le Mali certes n'est pas un producteur de carburant, mais, il peut exiger aux fournisseurs de carburant de qualité même si cela doit coûter cher.

La création de laboratoire mobile permet de relever à temps réel les différents polluants nuisibles de l'air pour la santé de l'homme. Ce laboratoire aura comme missions, de veiller sur la pollution de l'air ambiant ; d'informer régulièrement la population de l'état de la qualité de l'air ; de fournir des rapports mensuels sur la pollution de l'air; d'évaluer les rejets de polluants; de favoriser la mise en place d'un centre d'observatoire de la qualité de l'air (COQA) qui sera sous tutelle de la DNACPN.

La sensibilisation régulière de la population au port de contre-poussière permettra d'atténuer les maladies liées aux polluants. Le reboisement des bordures du goudron permettra en effet d'atténuer la dispersion des polluants. L'élaboration de norme, à l'instar du Sénégal, propre au Mali, s'avère nécessaire.

4. Discussion

Cet article étudie les concentrations des dioxydes de soufre et d'azote et ses impacts sur la santé publique dans le District de Bamako. Il s'agit de chercher de déterminer les niveaux de concentrations de SO_2 et de NO_2 dans l'air, leurs effets nocifs sur la santé publique afin de proposer des solutions pour atténuer ces impacts.

Les recherches ont révélé que le dioxyde de soufre (SO_2) est un polluant dangereux qui a des impacts néfastes sur l'environnement et sur la santé. Ainsi, l'OMS a fixé une limite à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser dans chaque mètre cube d'air. A Bamako, il ressort que le dioxyde de soufre connaît une évolution suivant des sites et suivant des jours de prélèvement.

Les prélèvements à la date du 19 janvier 2022, effectués sur les deux rives du District de Bamako, sous une température oscillant de 25°C à 34°C , avec une vitesse de vent atteignant $2,6 \text{ m/s}$ de direction Nord-Est et une humidité de 27%, il est enregistré des valeurs qui sont supérieures à la recommandation de l'OMS, notamment, l'intersection Alqoods ($81,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$),

le tournant de Banconi ($67,6\mu\text{g}/\text{m}^3$), l'intersection Malilait sa ($58,11\mu\text{g}/\text{m}^3$), le rond-point de la place de l'indépendance ($53,37\mu\text{g}/\text{m}^3$), et l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro ($42,69\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mais, le NO_2 , quant à ce polluant, il est présent, mais, les concentrations ne dépassent la norme de l'OMS fixée à $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le polluant demeure nul sur les autres sites.

Les prélèvements à la date du 28 avril 2022, effectués sur la RD, sous une température oscillant de 30°C à 39°C , avec une vitesse de vent de $1,2\text{ m/s}$ de direction Nord-Ouest et une humidité de 62% , le dioxyde soufre n'est présent que sur un seul site avec $11,86\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mais, le dioxyde d'azote est présent en quantité très suffisante sur tous les sites : l'intersection lycée Kankou Moussa Daoudabougou ($106,74\mu\text{g}/\text{m}^3$), l'entrée de l'auto-gare à Sogoniko ($115,05\mu\text{g}/\text{m}^3$), la Tour de l'Afrique à Faladjie ($91,32\mu\text{g}/\text{m}^3$), l'intersection au feu de Kalabancoura ($155,37\mu\text{g}/\text{m}^3$) et l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro ($142,33\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les prélèvements, à la 10 mai 2022, réalisés sur la RG, sous une température variant entre $36,6^\circ\text{C}$ et 39°C , avec une vitesse de vent de $2,2\text{ m/s}$ de direction Nord-Ouest et une humidité de 49% , malgré la variation des paramètres, les dioxydes de soufre et d'azote sont nuls sur les sites de la RG

Enfin, les prélèvements à la date du 8 août 2022 effectués sur les deux rives, avec une température oscillant de 27°C à 31°C , avec une vitesse de vent atteignant $2,1\text{ m/s}$ de direction Sud-ouest et une humidité de 83% , le dioxyde de soufre est nul sur tous les sites, excepté Intersection feu Kalabancoura avec $23,72\mu\text{g}/\text{m}^3$ Tandis que le dioxyde d'azote enregistre des valeurs importantes sur les sites tels que : l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro avec $66,42\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'intersection feu Kalabancoura avec $52,18\mu\text{g}/\text{m}^3$, et rond-point Woyowayanko avec $43,88\mu\text{g}/\text{m}^3$, ainsi que la Tour de l'Afrique avec $32,02\mu\text{g}/\text{m}^3$, la place de l'indépendance avec $30,83\mu\text{g}/\text{m}^3$, et le tournant Banconi avec $26,09\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations dépassent la norme de l'OMS fixée à $25\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Selon la Banque Mondiale (2010), dans son rapport intitulé : « Etude de la qualité de l'air à Bamako » affirme : « la mauvaise qualité du carburant impacte gravement la qualité de l'air. Au cours de cette étude réalisée dans le District de Bamako, il est apparu clairement que le carburant (essence et gasoil) utilisé est de qualité mauvaise. La teneur du carburant en soufre utilisé dans le District de Bamako est dépassée. Le diesel est très fortement soufré (10000 ppm) ».

Dans le magazine numéro 01, Public Eye publié (2016) intitulé : Dirty Diesel, affirmé : "En Afrique, la teneur en soufre de l'essence et du diesel est plusieurs centaines de fois supérieure à la limite admise en Europe. Dans huit pays d'Afrique pour prélever des échantillons dans les

stations-service «suisses », le diesel vendu contient jusqu' à près de 380 fois plus de soufre que la norme européenne. Deux éléments causent cette pollution qui atteint des niveaux dramatiques et expliquent les écarts observés entre l'Europe et l'Afrique, bien que cette dernière compte moins de véhicules. S'agissant du premier, la plupart des voitures et camions qui circulent au sud du Sahara sont importés d'occasion (environ 85 % en Afrique de l'Ouest). Ces véhicules devenus indésirables en Europe consomment davantage de carburant et ne sont pas équipés des dernières technologies de contrôle des émissions. Ils polluent donc plus que «nécessaire». Ce problème est connu de longue date. Les Etats-Unis et l'Europe ont réagi en abaissant fortement la limite de soufre admise, respectivement à 15 ppm (parties par million) et 10 ppm. En Afrique, malgré des progrès significatifs constatés dans certaines régions, de nombreux pays continuent d'autoriser la vente de carburants à haute teneur en soufre. A l'échelle continentale, la limite moyenne s'élève à 2000 ppm, soit 200 fois le niveau autorisé en Europe. Certains pays comme le Mali ou le Congo-Brazzaville ont un seuil fixé à 10 000 ppm ». Selon Professeur A. T à la Faculté des Sciences Techniques (FST) : *«Pourtant, l'objectif de la CEDEAO est d'harmoniser les spécifications des carburants (Essence et Gasoil), les limites d'émission des véhicules et engins dans la région, a fixé pour l'essence, la teneur ne doit dépasser 50 ppm de soufre, et pour le gasoil également »*

5. Conclusion

Cet article étudie les impacts des dioxydes de soufre (SO₂) et d'azote (NO₂) sur l'air ambiant à Bamako. Les recherches ont révélé que dans le District de Bamako, le NO₂, pendant la journée du 19 janvier 2022 sur les différents sites, est présent mais en quantité très faibles. Mais, le SO₂ est présent en quantité très élevée sur plusieurs sites tels que l'intersection Alqoods (81,84µg/m³), tournant de Banconi (67,6µg/m³), l'intersection Malilait sa (58,11µg/m³), le rond-point de la place de l'indépendance (53,37µg/m³), et l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro (42,69µg/m³) surpassant la norme de l'OMS fixée à 40µg/m³ pendant 24 heures. Lors des prélèvements du 10 mai 2022 qui ne concernent que la rive gauche, les dioxydes de soufre et d'azote sont demeurés nuls malgré la variation de la température. Les prélèvements de la journée du 28 avril 2022, ne concernent que la rive droite du District de Bamako. Le dioxyde d'azote est présent dans en quantité suffisante surtout les sites. Mais, le SO₂estprès que insignifiant, car, il est nul sur tous les sites, excepté celui du feu de Kalabancoura avec 11,86 µg/m³. Enfin, les prélèvements, de la journée du 8 aout 2022, qui concernent les deux rives, les polluants montrent des concentrations non

négligeables surtout le dioxyde d'azote. Le NO₂, présente des concentrations variant d'un site à un autre. Les sites tels que l'intersection Bacodjicoroni-Kalabancoro avec 66,42µg/m³, l'intersection feu Kalabancoura avec 52,18 µg/m³, et rond-point Woyowayanko avec 43,88µg/m³, ainsi que la Tour de l'Afrique avec 32,02µg/m³, la place de l'indépendance avec 30,83µg/m³, et le tournant Banconi avec 26,09µg/m³ enregistrent des concentrations dépassant la norme de l'OMS fixée à 25µg/m³. Tandis que le SO₂ présente des concentrations nulles, excepté le site feu de Kalabancoura qui atteint 23,72µg/m³. Ces polluants ont des effets néfastes sur la santé publique tels que : les maladies respiratoires (asthme, bronchite), *des brûlures de peaux et des yeux, les irritations et des inflammations, en particulier, gastriques.* Au cours de la recherche, et malgré les efforts consentis, nous n'avons pas pu nous intéresser à tous les aspects de la recherche tels les sources surtout ménagères des dioxydes de soufre et d'azote. Pour atténuer ces impacts négatifs, il faudrait limiter l'importation des véhicules âgés, contrôler la qualité du carburant, promouvoir le reboisement, sensibiliser la population au port du cache né. Cette recherche est pour les décideurs des pistes de solutions à cette problématique, si elle est utilisée à bon escient.

REFERENCES

- [1] DOUMBIA EHT, (2012). Caractérisation physico-chimique de la pollution atmosphérique urbaine en Afrique de l'Ouest et étude d'impact sur la santé, thèse pour l'obtention du grade de Docteur à l'Université de Toulouse III, 243 p.
- [2] BODART, O., (2020). Mobilité dans les villes et pollution de l'air : l'équation insoluble ?, 31p.
- [3] Cour des Comptes, (2020). Les politiques de lutte contre la pollution de l'air, 202 p.
- [4] DNP, (2018). Suivi de la mise en œuvre des actions de la feuille de route nationale du dividende démographique au Mali en 2018, 54 p.
- [5] BAUER E. et al. (2019). Desert Dust, Industrialization, and Agricultural Fires: Health Impacts of Outdoor Air Pollution in Africa, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 17 p. <https://doi.org/10.1029/2018JD029336> . Consulté, le 19 avril 2023.
- [6] BURNETTA R. et al., (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter, volume 115, numéro 38, 6 p. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1803222115>. Consulté, le 20 avril 2023.
- [7] Banque Mondiale, (2011). République du Mali Analyse environnementale du milieu urbain Volume 1, N° 60788-ML, 69 p.
- [8] Décret n°01 -397/P-RM du 06 sept 2001 fixant les modalités de gestion des polluants de l'atmosphère, 4 p. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mli49665.pdf>. Consulté le 22 février 2022
- [9] BILLARD T., (2017). Structure, composition et rôle de l'atmosphère, CNRS Hospices civils de Lyon Paris, 29 p.

- [10] Florian VENDEL F., (2011). Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels, 368 p.
- [11] Actu-environnement. Dictionnaire environnement, [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire environnement/definition/dioxyde de soufre s02 .php](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire%20environnement/definition/dioxyde%20de%20soufre%20s02.php) Consulté le 23 avril 2023.
- [12] CAMARA S., (2014). Question de la pollution atmosphérique en Afrique subsaharienne (Transports) : état des lieux des réseaux de surveillance, Master I TMEC à l'Université de Bourgogne, 35 p.
- [13] NDONG, A., (2019). Pollution de l'air extérieur et intérieur à Dakar (Sénégal): Caractérisation de la pollution, impact toxicologique et évaluation épidémiologique des effets sanitaires, 197 p.
- [14] Journal Scientifique et Technique du Mali, (2016). Pollution de l'Air Bamako : la cote d'alerte. <https://www.jstm.org/pollution-de-lair-bamako-la-cote-dalerte/>. Consulté, le 5 janvier 2022
- [15] Gouvernement canadien, (2013). Principaux contaminants atmosphériques : oxydes d'azote, [https://www.canada.ca/fr/environnement-changement climatique/services /pollution-atmospherique/polluants/principaux-contaminants/oxydes-azote.html](https://www.canada.ca/fr/environnement-changement%20climatique/services/pollution-atmospherique/polluants/principaux-contaminants/oxydes-azote.html). Consulté, le 22 avril 2023.
- [16] BRENN L., (2010). Avenir du secteur de l'automobile dans un contexte de développement durable : solution durable au moteur à essence. Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement à l'Université de Sherbrooke, Québec, Canada 86 p.
- [17] DIALLO B. et al. (2021). Etalement urbain à Bamako : facteurs explicatifs et implications, Afrique Science Revue Internationale des Sciences et Technologies, 16 p.
- [18] Consult STEP, (2018). Le secteur privé dans la gestion de déchets urbains du District de Bamako, 118 p.
- [19] DNP, (2018). Rapport de suivi de la mise en œuvre des actions de la feuille de route nationale du dividende démographique au Mali en 2018, 54 p.
- [20] Organisation Mondiale de la Santé, (2021). Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air, 16 p.
- [21] Banque Mondiale, (2010). Etude de la qualité de l'air à Bamako, 132 p.
- [22] Public Eye (2016). *Dirty Diesel*. N°1, 28 p.