



## Etude caractéristique de la pollution de l'air à Bamako (Mali).

Yacouba Maiga<sup>1\*</sup>, Massoudou ISSA<sup>1</sup>, Boubacar Kola Touré<sup>1</sup>, Mohamed Sida Maiga<sup>1</sup>, Cheikh Diop<sup>2</sup>

1. *Faculté des Sciences et Techniques, Université des sciences, des techniques et des technologies de Bamako. BP E 423, Mali. Tel: (223) 20 29 04 07*

2. *Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh AntaDiop de Dakar. B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal*

\* *auteur correspondant: E-mail: acpmfr@yahoo.fr ; Tel (00223) 76 44 75 01*

### 1. Résumé

La qualité de l'air est devenue une préoccupation importante des grandes métropoles africaines, en particulier de par ses effets sur l'environnement et la santé. Des mesures ont été prises pour améliorer la qualité de l'air ambiant, notamment au travers du programme de la Banque mondiale « Initiative sur la qualité de l'air dans les villes d'Afrique sub-saharienne ». A Bamako, une prise de conscience des pouvoirs publics sur la pollution de l'air est apparue à la suite de quelques mesures de concentration en poussières réalisées entre octobre et décembre 2009, et aout 2019. La croissance rapide de la population et du trafic automobile de l'agglomération entraîne une croissance significative de cette pollution. Cette étude passe par un état des lieux de la pollution atmosphérique avec des mesures de qualité de l'air ambiant en un certain nombre de points des résultats très satisfaisants ont été atteints dans certains domaines, puis l'étude comprend un calcul des émissions réalisé à partir d'un modèle spécifique, enfin des propositions d'actions sont faites dans le but de diminuer les émissions et l'impact de ces actions sont évalué par le biais d'un modèle sanitaire adapté. Les hypothèses du plan d'actions ont été testées sous la forme de scénarios. Les principales actions envisagées ont portées sur le parc automobile et les transports, la qualité des carburants et enfin l'aménagement urbain.

Mots clés : qualité air, pollution atmosphérique, Bamako , Mali

### II. Introduction

Selon (Bauer et al, 2019), 780 000 décès prématurés en Afrique seraient dus à la pollution par les particules fines et l'ozone (O<sub>3</sub>). Cette situation est d'autant plus marquée dans les pays sub-sahariens (Amegah K. A. et Agyei-Mensah S., 2017) où l'absence de données robustes des niveaux de pollution en raison d'un réseau de mesures quasi-inexistant, le manque d'évidences locales sur les relations entre les impacts de la pollution urbaine sur les populations exposées, et l'absence d'un cadre réglementaire pour la gestion de la qualité de l'air, empêche d'alerter sur les situations rendant les population particulièrement vulnérables. Bamako, capitale du Mali, sur les bords du fleuve Niger en est l'exemple type. La ville qui concentre près de 3.4 million d'habitants, et plus de la moitié de la population urbaine du pays, a connu un fort essor démographique au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, sans pour autant avoir pu mettre en place les infrastructures et les réglementations nécessaires à la protection de l'environnement. Le transport routier, les pollutions d'origine résidentielle et industrielles ont ainsi très largement participé à dégrader la qualité de l'air de la ville ces dernières décennies. Le district de Bamako concentre un grand nombre d'activités anthropiques (trafic routier, industries, secteur tertiaire) et une forte densité de bâtis engendrant de fortes émissions de polluants. Son climat soudanien dégradé et son site avec un relief accidenté sont plutôt favorables à la dispersion de la pollution atmosphérique (Coulibaly, 2012). Cependant, l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules dépassant les moyennes des normes engendrent des inquiétudes pour la vie sur terre. L'exposition à des concentrations exceptionnelles de ces polluants durant quelques jours ou quelques semaines engendre des problèmes respiratoires,

cardio-vasculaires et cardiaques (Le Tertre et al., 2002 ; Stieb et al., 2002 ; Bell et al., 2004 ; Samoli et al., 2006). Une exposition régulière à la pollution atmosphérique augmente les risques de maladies chroniques respiratoires ou cardiovasculaires, et de cancers (Dockery et al., 1993 ; Pope et al., 1995 ; Brücker et al., 2006). L'exposition à la pollution de l'air est caractérisée par la concentration de polluants à laquelle une personne est soumise durant un laps de temps (Ambroise et al., 2005). Cette exposition dépend des variabilités spatiale et temporelle de la pollution de l'air à différentes échelles. Les conséquences sur la santé des individus de la pollution de l'air sont des préoccupations anciennes : en Angleterre, dès le XIII<sup>e</sup> siècle, la Couronne a dû prendre des mesures pour restreindre l'emploi du charbon dans les maisons en raison de la fumée et de l'odeur dégagées... (Cambers, 1968). Durant la deuxième moitié XIX<sup>e</sup> siècle, les pollutions atmosphériques se sont multipliées de façon massive dans les régions industrielles européennes et nord-américaines, avec l'utilisation croissante du charbon. Les épisodes de pollution de la vallée de la Meuse, à proximité de Liège, en décembre 1930 (Nemery et al., 2001), de Donora en Pennsylvanie, en octobre 1948, et de Londres, en décembre 1952 (Bell & Davis, 2001), en sont les exemples emblématiques aux conséquences humaines dramatiques. Depuis, le législateur a pris un certain nombre de mesures pour tenter de réduire les émissions et par ailleurs la nature de la pollution a beaucoup changé, au moins en Europe et en Amérique du Nord, où les émissions industrielles et du chauffage ont diminué. En parallèle, la recherche scientifique a évolué et l'on sait distinguer aujourd'hui plusieurs dizaines de polluants dans l'air, qui peuvent se combiner entre eux et se transformer. Parmi ces polluants, il y a les PM (*Particulate Matter* en anglais), dont le taux très variable dans le temps et dans l'espace, est assez souvent à l'origine de bulletins d'alerte destinés à informer la population. Depuis une dizaine d'années, la recherche médicale précise mieux le rôle néfaste de ces PM sur la santé et leur implication dans des pathologies chroniques respiratoires et cardiovasculaires (AFSSET, 2009). Mais, malgré le nombre relativement important d'études (Dab et al., 2001 ; Pope & Dockery, 2006...), ce domaine de la recherche souffre toujours, d'une part, d'une insuffisance de l'évaluation des niveaux d'exposition subis par chaque individu (volumes inhalés sur de longues périodes en particulier) et, d'autre part, d'un manque de connaissance sur les effets sanitaires, surtout à moyen et long terme, des divers types de PM. Selon l'Association Pour la Protection de l'Air (APPA, 2012), « *pollution par les particules, impacts sur la santé, l'air et le climat* » avec plus de 30 articles rédigés par des scientifiques d'horizons disciplinaires différents est révélateur de la diversité des recherches. Bon nombre d'études concernent les effets à court terme (exposition du jour et de la veille à des pics de pollution) ou à moyen terme (exposition cumulée sur quelques dizaines de jours précédents l'admission).

C'est dans ce contexte spécifique et pour répondre à une problématique urgente sur l'évaluation de l'état de la qualité de l'air sur la ville de Bamako que l'ensemble des missions suivantes ont été réalisées :

- Une analyse de la situation actuelle complétée par la réalisation d'une campagne de mesures ;
- Une cartographie de la qualité de l'air sur la ville de Bamako, intégrant :
- Un inventaire des émissions polluantes : identification des différentes sources de pollution de l'air et quantification des différentes sources de pollution ;
- Modélisation de la qualité de l'air à partir de cet inventaire, de la météorologie locale et de l'analyse de la situation actuelle ;
- Une évaluation des impacts sur la santé des concentrations atmosphériques à travers d'indicateurs robustes OMS ;
- Une analyse comparative des niveaux de pollution sur Bamako avec d'autres villes africaines ;
- Une proposition du principe de surveillance de la qualité de l'air.

### III. Milieu d'étude

La ville de Bamako joue un rôle économique important sur le plan économique au Mali que. Dans le découpage administratif national, elle a été érigée en un "district" autonome comme les 8 grandes régions nationales que sont par importance démographique décroissante: Sikasso, Koulikoro, Ségou, Mopti, Kayes, Tombouctou, Gao et Kidal. Selon les résultats du dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) d'Avril 2009, Bamako rassemble plus de 12% de la population malienne. La ville de Bamako est traversée presque en son milieu d'Est en Ouest par le Fleuve Niger dont la largeur du lit peut aller jusqu'à 1 500 m, et le périmètre urbain global couvre quelque 267 Km<sup>2</sup>. Cependant la zone urbanisée proprement dite couvre une superficie d'environ 19 000 ha de part et d'autre du Fleuve comme suit : au Sud sur la Rive droite se trouvent les Communes V et VI sur une superficie de l'ordre de 12 000 ha jusqu'à l'Aéroport de Bamako-Senou, au Nord sur la Rive Gauche, les Communes I, II, III et IV couvrent une superficie de l'ordre de 7 000 hectares. À l'instar de nombreuses métropoles africaines, la ville de Bamako est construite et s'étale de manière extensive en surface, avec dans les zones résidentielles une très forte prédominance des habitations à un seul niveau se limitant au rez-de-chaussée.

### IV. Objectifs

Étudier la qualité de l'air à Bamako

#### Objectifs spécifiques

- Faire une campagne de mesures de la qualité de l'air, et des comptages de circulation
- Analyser la situation actuelle, qualité de l'air ambiant et caractéristiques des émissions.
- Proposer un plan d'actions pour limiter les émissions
- Simuler de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans le plan d'actions
- Modéliser de l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios.

### V. Matériel et Méthode

#### Les Méthodes

Une campagne par tubes passifs mise en place, après formation des agents sur l'utilisation des matériels de mesure. Certains capteurs placés en fonction des zones de concertation dont :

Proximité du trafic, dits sites « pic ». (Gouvernorat du District). Selon les critères « de fond » quelques doublets ont été réalisés pour apprécier la reproductibilité de la mesure. Le polluant mesuré était le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> selon les stratégies suivantes :

Campagne de mesures en 2 points pendant quelques mois pour NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, COV. Les points proposés sont la mairie et un point proche du fleuve (Ministère des Finances) ;

Campagne systématique de mesures dans Bamako pour NO<sub>2</sub> (traceur du trafic).

#### Le Matériel

Les mesures réalisées :

- Par tubes passifs pour SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et BTX (marque Passam);
- Thermo Andersen ADR-1200S pour les particules :
  - o PM<sub>10</sub> en temps réel,
  - o Précision de +/- 5% par rapport à méthode standard (gravimétrique);
- DragerPac III E :
  - o Mesure de CO en temps réel,
  - o Enregistrement de 8000 valeurs,
  - o Homologation Demko 02 ATEX 0135331 - EExia IIC T4.

Les appareils de mesures utilisés pour CO et les poussières étaient les suivantes :



## VI Résultats attendus

### 1.1 Campagne par tubes passifs

Une campagne par tubes passifs a été mise en place du 6 au 14 octobre 2009, après formation de quatre opérateurs.

Une quarantaine de capteurs ont été placés en concertation avec les maliens, dont :

- 9 en proximité au trafic, dits sites « pic ».
- 31 selon les critères « de fond » dont deux doublets pour apprécier la reproductibilité de la mesure.

Le polluant mesuré était le dioxyde d'azote  $\text{NO}_2$ .

La campagne par tubes passifs a permis de recueillir des données indicatives :

- des niveaux pour les polluants  $\text{NO}_2$  en des sites représentatifs de l'exposition de « fond » à Bamako, sur toute la ville (voir cartographie réalisée à partir de 31 points « fond ») pour la période considérée;

- des niveaux relatifs de ces polluants sur l'ensemble de la ville, qui permettent de hiérarchiser les zones de la ville en fonction de la pollution de fond liée aux émissions des véhicules surtout (au travers de l'indicateur NO<sub>2</sub>);
- des niveaux maximums, moyennés sur une semaine, en NO<sub>2</sub> : valeurs mesurées dans les 9 points « pic » qui étaient situés à proximité de carrefours et voies à fort trafic ainsi qu'au niveau des 3 gares routières.
- Tableau 1 : Résultatssynthétiques de la campagne :

Site de mesure	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
gare routière Medine	57,7
Bd du peuple - Assemblée	40,1
Rue Baba diara - chambre de commerce	49,8
rue modibo Keita - centre Djoliba ou trésorerie	29,2
avant le pont des martyrs - DNE ou INPS	40,5
Pont du roi Fadh - Mémorial Keita	32,9
rond point du monument de l'indépendance - INPS	43,6
Gare routière Dicoroni	20,9
Gare routière Sogoniko	86,2
Moyenne sites "fond"	21,9
Mini sites "fond"	10,2
Maxi sites "fond"	36,3

*Pour information : recommandation OMS : 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle*

Avec une valeur de 21.9 µg/m<sup>3</sup>, la moyenne des sites de fond respecte, sur la période de mesure, la valeur recommandée par l'OMS fixée à 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle.

Les mesures observées en NO<sub>2</sub> montrent une grande disparité entre niveau de fond et niveau de proximité trafic (ou pic) liée à l'influence du trafic routier : la moyenne des sites de pic est de 44.5 µg/m<sup>3</sup> contre 21.9 µg/m<sup>3</sup> pour la moyenne des sites de fond.

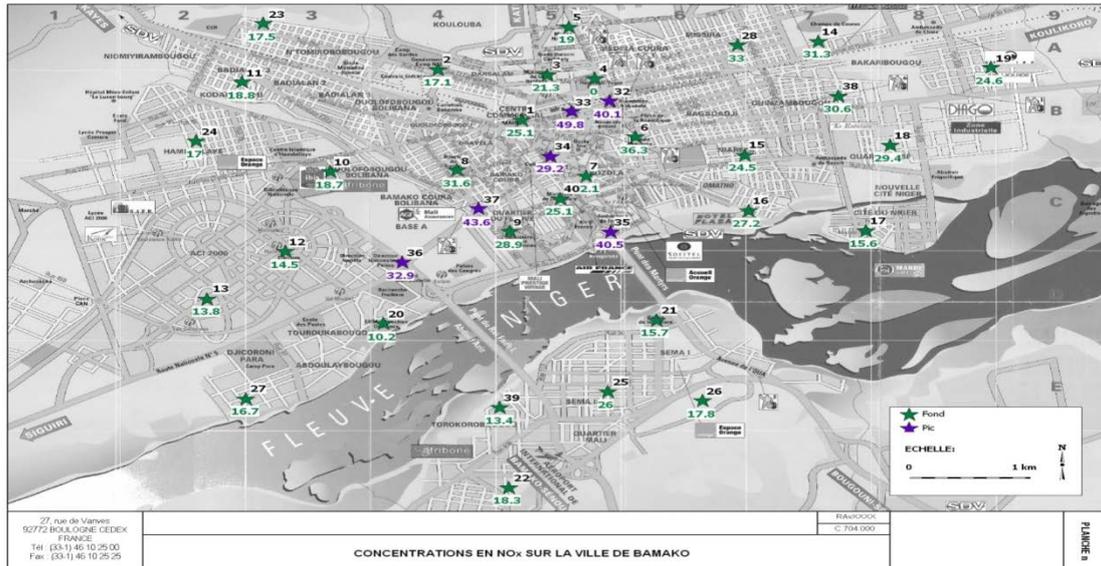
On notera en particulier les fortes valeurs relevées en quatre points, dans l'ordre croissant des niveaux relevés :

- le rond-point du monument de l'Indépendance – INPS
- la rue Baba Diara – Chambre de commerce
- la gare routière de Médine
- la gare routière de Sogoniko

Les concentrations relevées en ces 4 sites dépassent très largement, sur la période de mesure, la valeur recommandées par l'OMS (40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle).

Les résultats mesurés pour l'ensemble des sites de fond sont reportés sur la carte ci-après.

Tableau: Representations des concentrations au niveau des points de mesure « fond » en NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>).



L'analyse des données de  $\text{NO}_2$  relevées dans le centre de Bamako montre que les concentrations élevées sont principalement associées à des sites de proximité routière. Cependant certains sites de fond sont associés à des niveaux importants de pollution par le dioxyde d'azote : les concentrations de fond les plus importantes sont relevées au Nord-Est de la ville alors que les valeurs les plus faibles sont réparties sur la partie Sud-Ouest de Bamako. Petit rappel sur les oxydes d'azote :

Le **monoxyde d'azote ( $\text{NO}$ )** et le **dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ )**, coexistent habituellement, le  $\text{NO}$  s'oxydant spontanément en  $\text{NO}_2$ . Les rejets en oxydes d'azote ont deux origines essentielles :

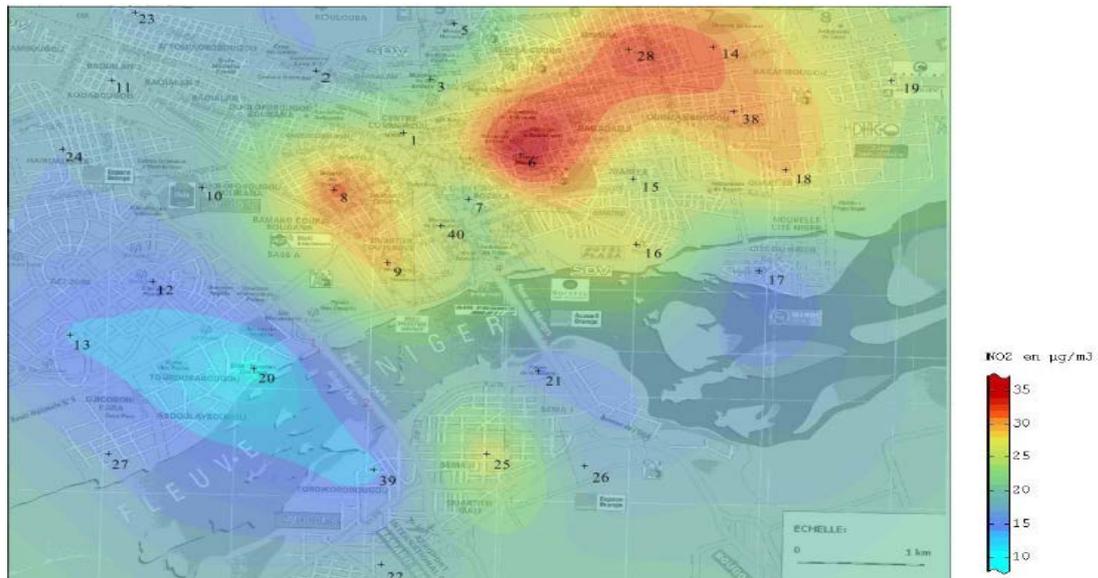
- La combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à des températures supérieures à  $1200^\circ\text{C}$  dans les foyers de combustion et les moteurs,
- La présence d'azote dans les combustibles. Cette teneur est faible dans le gaz et les fuels, plus élevée dans les combustibles solides.

Dans l'air ambiant, le  $\text{NO}_2$  est essentiellement issu des sources de combustions automobile, industrielle et thermique tandis que sa présence à l'intérieur des habitations est essentiellement liée à l'utilisation de chauffages utilisant de l'énergie fossile, de cuisinières à gaz ou à bois et à la fumée de tabac.

La toxicité du  $\text{NO}_2$ , plus importante que le  $\text{NO}$ , est liée à ses propriétés oxydantes. Gaz irritant, il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper-réactivité bronchique chez l'asthmatique et, chez l'enfant, augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. La quantification des effets propres à  $\text{NO}_2$  lors d'études écologiques temporelles est difficile, du fait principalement de la présence dans l'air d'autres polluants avec lesquels le  $\text{NO}_2$  est corrélé.

La cartographie suivante a été obtenue par krigeage ordinaire des mesures de fond en voisinage unique. Elle illustre parfaitement la première analyse présentée sur la page précédente : les concentrations de fond les plus importantes sont relevées essentiellement dans la zone centrale de la ville ainsi qu'e dans la zone de la centrale thermique de Dar es Salam. D'une manière générale pendant la période de mesure de cette campagne, les concentrations en  $\text{NO}_2$  se sont révélées faibles. On a pu observer qu'elles ont augmenté en novembre et décembre.

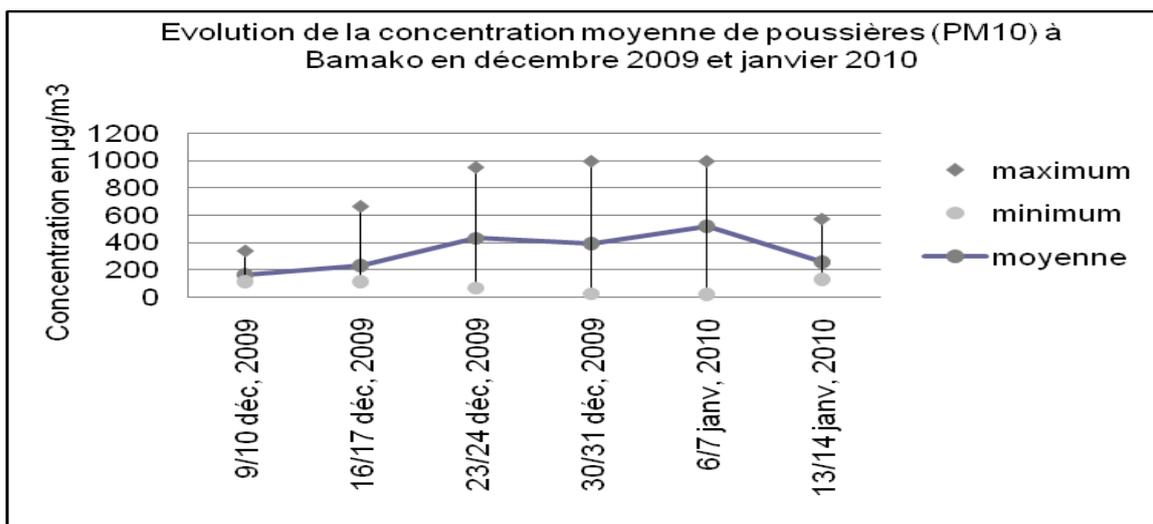
Figure 2: Cartographie  $\text{NO}_2$  lors de la campagne par tubes passifs



**Figure 3 : Mesures de poussières PM10**

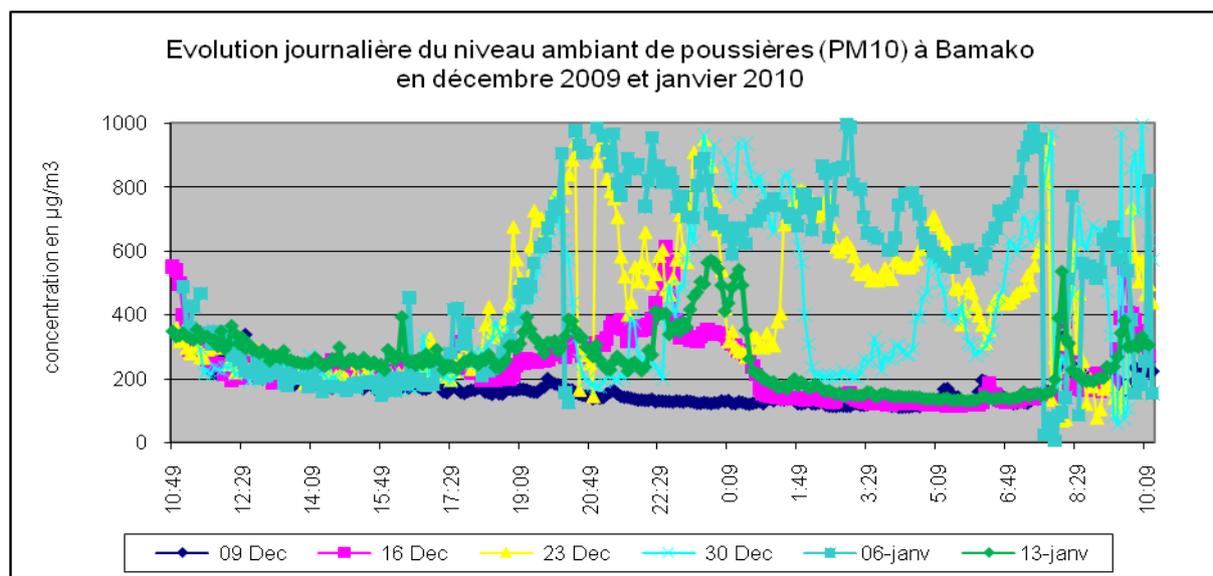
Les mesures en PM10 sur le site de fond « Municipalité » donne les résultats suivants :

*Figure 1 : Evolution de la concentration moyenne de poussières PM10 à Bamako en décembre 2009*



Les journées du 9/10, 16/17 décembre et 13/14 janvier présentent une moyenne comparable de l'ordre de 200 µg/m<sup>3</sup>. Les trois autres journées montrent une moyenne en augmentation avec une valeur de l'ordre de 450 µg/m<sup>3</sup>. On peut noter sur la figure précédente une variation autour de la moyenne qui croît au fil des mesures. Cela se concrétise très nettement sur la figure suivante :

*Figure 4 : Mesures des PM10 d'octobre à décembre 2009 à Bamako*



L'évolution des données sur une journée de mesure permet d'appréhender le comportement du polluant. Ainsi, à Bamako, on peut remarquer que les niveaux moyens de PM10 en milieu de journée sont globalement constants d'une journée sur l'autre à des niveaux de l'ordre de 200 à 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La mesure réalisée le 9/10 décembre montre un profil très plat où les variations ne sont guère significatives. Les 16/17 décembre et 13/14 janvier, le profil de poussières se distingue de celui du 9/10 décembre par une augmentation du niveau de PM10 en soirée, à partir de 18 heures jusqu'à 1 h du matin le 17 décembre.

Les trois mesures suivantes (23/24 et 30/31 décembre et 6/7 janvier) montrent un profil encore différent avec une augmentation toujours vers 18 heures mais nettement plus importante que celle observée le 16 décembre. Cette augmentation atteint un palier moyen de 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des pics à 996  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mesuré le 30 décembre 2009 et le 6 janvier 2010). On notera néanmoins des variations très importantes visibles en cours de nuit : cela peut être le reflet des variations de vent ou d'activités...

### Tableau 2 : Mesures de composés organiques volatils COV

Des mesures de COV ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs placés dans le site « Municipalité ». Les échantillonneurs ont été exposés pendant 14 jours et fournissent les résultats suivants après analyse en laboratoire :

Tableau 1 : mesures de COV

Début Date/heure	Benzène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Toluène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ethylbenzène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	p-Xylène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	m-Xylène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	o-Xylène [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
14/10/2009 12 :45	10.5	26.7	5	5.5	11.9	5.5
28/10/2009 09 :15	20.5	53.5	10.7	9.8	22.8	10.1
11/11/2009 09 :05	18.2	45.4	8.9	8.6	20.6	8.5

Ces concentrations en COV sont préoccupantes, notamment pour le benzène dont les niveaux dépassent largement, pendant les trois périodes de mesure, la valeur limite définie au niveau européen (5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle).

Les émissions des deux roues motorisées sont, en grand partie, responsables de ces niveaux de benzène dans l'air ambiant de Bamako.

### 1.1.1 Mesures de monoxyde de carbone CO

Les mesures de CO effectuées en bordure des chaussées et donc du trafic montrent des valeurs instantanées importantes supérieures à 5 ppm soit  $5.8 \text{ mg/m}^3$ . Mais elles restent en deçà de la valeur recommandées par l'OMS ( $100 \text{ mg/m}^3$  en moyenne sur 15 minutes).

Rappelons la règle de conversion suivante :  $1 \text{ ppm CO} = 1.16 \text{ mg/m}^3$ .

Le monoxyde de carbone est un gaz présent majoritairement en sortie d'échappement qui s'oxyde très rapidement au contact de l'air. Sa concentration décroît donc de façon très rapide dès qu'on s'éloigne des sources d'émissions, à savoir dès qu'on s'éloigne de la voirie.

Rappelons que le monoxyde de carbone présente une forte affinité avec l'hémoglobine du sang : il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les effets aigus de l'intoxication par le monoxyde de carbone sont bien établis, se caractérisant tout d'abord par des céphalées, une grande fatigue, des vertiges et des nausées, puis pouvant atteindre des états de somnolence, d'impotence fonctionnelle puis le coma. Incolore et inodore il est encore souvent mortel en air intérieur, dans le cas de matériels de combustion mal entretenus.

En raison de la présence importante de vendeurs ambulants restant sur le bord de la voie à Bamako une bonne partie de la journée, le monoxyde de carbone peut constituer un polluant à surveiller attentivement. On peut en effet supposer que les valeurs instantanées relevées dans les quelques rues de Bamako ayant fait l'objet de mesures, peuvent être relevées à des niveaux comparés tout au long de la journée. De ce fait, la valeur recommandée par l'OMS de  $10 \text{ mg/m}^3$  en moyenne sur 8 heures pourrait être atteinte et présenter potentiellement un impact sur la santé des vendeurs ambulants.

### Conclusion

Les résultats ont montré des niveaux de concentration inférieurs ou sensiblement égaux aux données du précédent rapport BURGEAP de 2009. La concentration en PM10 relevée indique une zone de dépassement importante par rapport aux valeurs guides de concentration fixées par l'OMS; L'inventaire des émissions atmosphériques sur la ville de Bamako a été réalisé à partir de la collecte des données. Les calculs des émissions sectorielles ont été effectués. Ils indiquent une contribution significative de la combustion résidentielle et du trafic routier au budget global des émissions ; La modélisation a été effectuée via le logiciel ADMS. Les cartes de concentrations indiquent des zones de dépassement des valeurs retenues comme valeurs limites pour les PM10 (sur la quasi- totalité du territoire au nord de l'aéroport), pour le SO2 (à proximité immédiate des centrales thermiques), pour le CO (sur certaines zones des communes II, IV, et V; L'évaluation des impacts sanitaires a été réalisée à partir des inventaires sanitaires de chacune des communes et des indicateurs IPP. Les pathologies respiratoires représentent la deuxième cause d'admission à l'hôpital et dans les centres de santé après les cas de paludisme suspects ou avérés. En outre, les communes II, IV, et particulièrement la V sont les communes les plus impactées en termes d'impact sanitaire lié à la pollution atmosphérique (sur la base des expositions en PM10 et en NO2); La revue documentaire des concentrations dans plusieurs grandes villes Africaines a montré que les concentrations relevées dans le district de Bamako se situe au niveau de la médiane pour l'ensemble des polluants concernés ; Fort de l'ensemble de ces éléments, un principe de plan de surveillance est proposé qui inclut une proposition techno-financière adaptée aux enjeux de la ville de Bamako

### Bibliographie

- AFSSET (2009). Pollution par les particules dans l'air ambiant. Synthèse des éléments sanitaires en vue d'un appui à l'élaboration de seuils d'information et d'alerte du public pour les particules dans l'air ambiant. Rapport d'expertise collective, 96 p. + annexes. URL : <http://www.afsset.fr/index.php>
- AIR-APS (2011). Suivi des polluants réglementés dans la vallée de l'Arve, 43 p. Rapport en ligne : <http://www.air-rhonealpes.fr/>
- AIRPARIF (2008). Les différents polluants et leur évolution. Récupéré du site <http://www.airparif.asso.fr/pollution/differents-polluants>
- Amegah K. A. et Agyei-Mensah S. (2017). Urban air pollution in Sub-Saharan Africa: Time for action. *Environmental Pollution*, 220, 738- 743.
- APPA (Association Pour la Protection de l'Air) (2012). « Pollution par les particules, impact sur la santé, l'air et le climat », Numéro spécial, 231 p. <http://www.appa.asso.fr/national/Pages/article.php?art=754>
- Aymoz, G., Jaffrezo, J.L., Chapuis, D. et al. (2007). Seasonal variation of PM10 main constituents in two valleys of the French Alps. 1: EC/OC fractions, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 661-75.
- Bauer, S. E., Im, U., Mezuman, K., & Gao, C. Y. (2019). Desert dust, industrialization, and agricultural fires: Health impacts of outdoor air pollution in Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 4104– 4120.
- Bell, M.-L. & Davis, D.L. (2001). Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 109, 389-94.
- Belleudi, V., Faustini, A., Stafoggia, M., Cattani, G., Marconi, A., Perucci, C.A. et al. (2010). Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases. *Epidemiology*, 21(3), 414-23.
- Brunekreef, B. & Holgate, S.T. (2002). Air pollution and Health. *The Lancet*, 360, 1233- 1242.
- Chambers, L.A. (1968). Classification and extent of air pollution problems. In A.C. STERN - Air Pollution, New York: Academic Press, 1-21.
- Dab, W., Ségala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Le Moullec, Y. et al. (2001). Air pollution and health : correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particules and cardiopulmonary mortality. *J. Air Waste Manag Assoc*, 51, 220-35.
- Dahech, S., Daoud, A. & Beltrando, G. (2011). Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs : Le cas des températures, de la brise, du CO et SO2. *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne]*, Environnement, Nature,
- Delaunay, C., Goupil, G., Ravelomanantsoa, H., Person, A., Mazoue, S. & Moranowski, F. (2010). Évaluation de l'exposition des citoyens aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne.
- Doumbia et al. (2013). Physico-chemical characterization of urban atmospheric pollution in West Africa and health impact study. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- Duché, S. (2013). *La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques*, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Diderot, juin, 227 p. + annexes.
- Englert, N. (2004). Fines particles and human health - a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett*, 149, 235-42.
- Filleul, L., Medina, S. & Cassadou, S. (2003). La pollution atmosphérique particulaire urbaine : de l'épidémiologie à l'impact sanitaire en santé publique. *Rev. Epidemiol. de Santé Publique*, 51, 527-42.
- INSEE (2010). *La pollution de l'air par les transports*. Récupéré sur le site : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/361/1228/pollution-lair-transports.html>
- Kelly, F.J. & Fussell, I. (2012). Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*, 60, 504-526.

- Khlaifi, A., Dahech, S. & Beltrando, G. (2008). Study of the SO<sub>2</sub> dispersion with the Gaussian model according to the atmospheric circulation in a coastal city : Sfax (Tunisia). *Meteorol. Appl.*, 15 (4), 513-522.
- Kim, C.S. & Kang, T.C. (1997). Comparative measurement of lung deposition of inhaled fine particles in normal subjects and patients with obstructive airway disease. *Am J respir Crit Care Med*, 15, 899-905.
- Lave, L.B. & Seskin, E.P. (1970). Air pollution and Human Health, *Sciences*, 169, 723-733.
- Mauderly, J.L. & Chow, J.C. (2008). Health effects of organic aerosols. *Inhal Toxicol.* 20 (3), 257-88.
- Michelot N. (2014). L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes Maritimes. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice Sophia-Antipolis, 357 p.
- Nemery, B., Hoet, P.H. & Nemmar, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930 : an air pollution disaster. *Lancet*, 357, 704-708.
- Nerhagen, L., Bergström, R., Forsberg, B., Johansson, C. & Eneroth, C. (2008). The mortality cost of particulate matter due to emissions in the Stockholm area– an investigation into harmfulness, sources and the geographical dimension of their impact. VTI rapport 635A, 36 p. Rapports du VTI (Suède). Consultés sur le site [www.vti.se/sv/publikationer/pdf/](http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/)
- Pascal, M. & Medina, S. (2012). Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice : Institut National de Veille Sanitaire. 6 p. Récupéré du site : <http://www.invs.sante.fr>
- Pope, C.A. & Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J. Air Waste Manag Assoc.* 56, 709-42.
- Rapport BURGEAP (2009), Etude de la qualité de l'air à Bamako.
- Rückerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J. & Peters A. (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.*, 23 (10), 555-92.
- Woolcock, A.J. & Peat, J.K., (1997). Evidence for the increase in asthma worldwide. *Ciba Found Symp*, 206, 122-134.