

Impacts sanitaires de la pollution de l'air à Bamako (Mali).

Yacouba Maiga<sup>1\*</sup>, Hady Diallo<sup>3</sup>, Ousmane Coulibaly<sup>1</sup>, Boubacar Kola Touré<sup>1</sup>, Sékou Sako<sup>1</sup>, Hamidou Kodio<sup>4</sup>, Ibrahima Yattara<sup>1</sup>, Mohamed 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 Anta Diop de Dakar. B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal
3. Institut de Pédagogie Universitaire de Kabala Bamako, Mali
4. Institut d'Economie Rural, Bamako, Mali

DOI: <https://doi.org/10.56293/IJASR.2022.5427>

IJASR 2022

VOLUME 5

ISSUE 5 SEPTEMBER - OCTOBER

ISSN: 2581-7876

**I. Abstract:** La croissance rapide de la population de Bamako induisant une augmentation du trafic automobile et de motocyclettes de l'agglomération a entraîné une augmentation significative de la pollution atmosphérique. Pour diagnostiquer ce phénomène, un état des lieux de cette pollution atmosphérique avec des mesures de la qualité de l'air ambiant en un certain nombre de points, ainsi que des comptages de circulation ont été faits. Cette étude a pour objectif de caractériser les différentes sources d'émissions en vue de modéliser l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios. Elle a pour finalité de proposer un plan d'actions pour limiter les émissions à partir de la simulation de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans plan d'actions. Les résultats des deux campagnes de mesures de la qualité de l'air montrent des niveaux de concentration inférieurs ou sensiblement égaux entre ceux de Juillet 2019 à ceux des données de 2009. La concentration en PM10 relevée indique une zone de dépassement importante par rapport aux valeurs guides de concentrations fixées par l'OMS. L'analyse de l'évaluation des émissions et de leur impact sanitaire aux horizons 2015 et 2020 montre que la pollution par les composés organiques volatils et les poussières deviendra inacceptable si rien n'est fait. Le nombre de cancers liés au benzène passera à 686 cas et l'augmentation de la mortalité due aux poussières à une proportion moyenne de 38,7%. Des propositions ont été faites sur l'amélioration du cadre de vie, la qualité du carburant et le parc automobile.

**Keywords:** Emissions atmosphériques, pollution, impact sanitaire, Mali.

## II. Introduction

La pollution atmosphérique constitue un problème environnemental complexe et majeur qui se pose partout dans le monde. Les études associées menées en Amérique, en Europe et en Asie, montrent que cette pollution a pour cause principale les activités humaines, soient industrielles, domestiques, agricoles, urbaines ... (Smith et Mehta, 2003 ; Ezzati et al., 2004 ; Nweke and Sanders III, 2009 ; Brunekreef, 2010). L'Afrique n'échappant pas à cette donne, est confrontée à cette pollution, ses multiples impacts, à savoir sur le climat et sur la santé des populations. Bien que les données sur la pollution atmosphérique en Afrique soient très peu fournies, les récentes estimations de l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) dénombrent approximativement un million de morts prématurés chaque année dans le monde imputable aux effets de la pollution, dont 5% pour la seule Afrique (WHO, 2006). Par ailleurs, les sources de cette pollution en Afrique augmentent de façon considérable eu égard à une croissance urbaine galopante et soutenue des villes (Banque Mondiale, 2003).

Cette croissance démographique soutenue et le fort exode rural, concentrés dans de grandes métropoles en Afrique sont des éléments centraux d'augmentation très rapide de la pollution urbaine (Bousquet et al., 2003). C'est un effet général mais particulièrement encore mal documenté en Afrique de l'étroite relation entre émissions de polluants et activités humaines. Estimée à 819 millions d'habitants en 2000 (13,4% de la population mondiale), la population africaine est passée en 2010 à 1033 millions (environ 15% de la population mondiale) et pourrait s'établir à 2

milliards en 2050, soit 22% de la population mondiale (ONU, 2008). Cette très forte croissance démographique, combinée à une forte urbanisation (39% de la population urbaine en 2008) est associée d'une part à une augmentation forte de la demande en transports, mais aussi à l'évolution démographique; rapides en Afrique subsaharienne, constituent une cause majeure des émissions gazeuses et particulaires en zones urbaines (Han et Naehar, 2006 ; Liousse et Galy-Lacaux, 2010 ; Assamoi et Liousse, 2010 ; Doumbia et al., 2012a). La situation économique précaire et l'ouverture des pays de l'Afrique de l'ouest favorisent l'importation des véhicules automobiles européens « France au revoir » de seconde main qui affluent dans les ports africains. Ces vieilles voitures n'étant pas équipées de technologies récentes requises pour limiter les rejets des composants les plus nocifs (oxydes dioxyde de soufre, particules fines, monoxyde de carbone, plomb, etc.) constituent une sérieuse menace pour la qualité de l'air. A ses émissions d'automobiles s'ajoutent celle des engins à deux roues à moteur deux temps qui utilisent des mélanges de carburants frelatés ou falsifiés de très mauvaise qualité (Assamoi et Liousse, 2010). En zones rurales et même en zones urbaines, les feux de biomasse, les feux domestiques ainsi que l'incinération des déchets (agricoles et domestiques) contribuent pour une très large part aussi aux émissions de polluants atmosphériques. L'ensemble de ces polluants sont des sources potentielles de maladies et d'allergies respiratoires, qu'il s'agisse de maladies chroniques telles que l'asthme ou encore, de cancers pour les populations exposées (Ezzati et al., 2004 ; Brunekreef, 2010).

A cela, s'ajoutent des conditions climatiques particulières, avec des températures élevées en saison sèche qui favorisent la pollution photochimique. Egalement, les poussières sahariennes, par la fréquence et l'intensité de leurs soulèvements, constituent une caractéristique importante (Skonieczny et al., 2011 ; Deboudt et al., 2010), à l'origine d'importantes quantités de particules excédant les valeurs limites préconisées par l'OMS (Rodriguez et al., 2001 ; Matassoni et al., 2009). Ces poussières désertiques sont également à l'origine de certaines infections respiratoires (méningites bactériennes) (Yaka et al., 2008) et de maladies cardiovasculaires (Karanasiou et al., 2012 ; Díaz et al., 2012).

Avec 3, 4 millions d'habitants, 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 (BURGEAP, 2010). Cependant, l'exposition à des concentrations exceptionnelles de ces polluants (l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules) 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).

Les aérosols émis en milieu urbain sont majoritairement constitués de particules de petites tailles, dites inhalables (PM<sub>10</sub>). Ces particules présentent des propriétés spécifiques et sont associées le plus souvent à des composés connus pour leur toxicité, tels que les métaux et certaines substances organiques (Huang et al., 2002 ; Hapoo et al., 2008 ; Seagrave et al., 2006). Par ailleurs, les plus petites peuvent atteindre les cellules alvéolaires au contact de la circulation sanguine, et seraient même responsables dans certains cas de modifications ADN (Knaapen et al., 2002 ; Risom et al., 2005).

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), 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 et 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. Le numéro spécial de la revue Pollution Atmosphérique publié en novembre 2012 par l'Association Pour la Protection de l'Air (APPA, 2012), sur le thème « 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.

C'est dans cette vaste problématique, que se situe cette recherche pour mieux caractériser la pollution de l'air à Bamako, et établir la relation entre la présence de PM dans l'air et les polluants chimiques et l'apparition de

problèmes sanitaires chez les individus qui sont soumis à des taux très variables de polluants tout au long de leur vie. Il s'agit spécifiquement à partir de la simulation de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans plan d'actions, de modéliser les impacts sanitaires de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios afin de proposer un plan d'actions pour limiter les émissions à partir de la simulation de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans plan d'actions

### III. Milieu d'étude

La ville de Bamako joue un rôle économique important sur le plan économique au Mali. 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, 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 Président Modibo Keita 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.

Objectif général

Étudier les caractéristiques de la qualité de l'air ambiant de Bamako et son impacte sur la santé.

Objectifs spécifiques

- Réaliser une campagne de mesures de la qualité de l'air ambiant, et de comptage de la circulation
- Analyser la situation actuelle, qualité de l'air ambiant et caractéristiques des émissions.
- Proposer un plan d'actions pour limiter les émissions
- Simuler 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 l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios

### IV. Matériel et Méthode

#### 4.1. 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 PM10 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 étaient les suivantes :



Photos: 1. Thermo Andersen ADR-1200S, 2. Capteurs passifs, 3. DrägerPac,

#### 4.2. Méthodes

Une campagne par tubes passifs est mise en place, après formation des agents sur l'utilisation des matériels de mesure. Certains capteurs sont 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  $\text{NO}_2$  selon les stratégies suivantes :

Campagne de mesures en 2 points pendant quelques mois pour  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ , COV. Les points proposés sont la mairie et un point proche du fleuve (Ministère des Finances) ;

Campagne systématique de mesures dans Bamako pour  $\text{NO}_2$  (traceur du trafic).

**Le calcul de l'impact sanitaire** des polluants est fait à partir de la population touchée (évolution prise à 5% par an) et des niveaux de pollution comparés à des valeurs guides dites VTR (quand elles existent) ou des valeurs de recommandations de l'OMS (quand les VTR ne sont pas disponibles). Avec un taux d'accroissement démographique de 5% par an, la population de Bamako devrait atteindre 2 424 375 habitants en 2015 et 3 094 185 habitants en 2020 :

Les concentrations de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  et  $\text{PM}_{10}$  vont être comparées aux valeurs de recommandations de l'OMS en 2009, en 2015 et en 2020. Ces valeurs sont des valeurs de recommandations de l'OMS : elles ne peuvent être assimilées à des valeurs toxicologiques de référence (VTR).

**Le coût de la mortalité liée à la pollution de l'air** est obtenu à partir de la mortalité (y) par inhalation de particules en appliquant la formule de l'OMS indiquée ci-dessous:

$$y = (0,070 \pm 0,012) \times C ; \text{ où } C \text{ est la concentration de l'air en } \text{PM}_{10}.$$

La formule n'étant pas valide au-delà de  $200 \text{ mg/m}^3$ , les chiffres les plus élevés sont donc à prendre avec précaution.

Le coût des hospitalisations liées à la pollution de l'air a été calculé en estimant le coût lié aux admissions dans les hôpitaux ou aux consultations liées à la pollution de l'air.

L'augmentation des admissions ou des consultations à cause des particules peut être évaluée à l'aide de la formule suivante de l'Organisation Mondiale de la Santé :

$$y = (0.084 \pm 0.033) * c \text{ ou } c \text{ est la concentration en particules } \text{PM}_{10} \text{ dans l'air}$$

**VI. Résultats attendus**

**5.1. Impact sanitaire du plan d'actions**

Les résultats du tableau 1 indiquent que la pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre n'est pas un problème à Bamako avec des niveaux de concentration très bas. Pour le dioxyde d'azote et les poussières en suspension, les ratios calculés dépassent la valeur de 1. On notera pour les deux polluants, l'efficacité des plans de réduction des émissions notamment à l'horizon 2020.

Pour le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes, une valeur toxicologique de référence existe (VTR) : nous allons donc pouvoir calculer un quotient de danger. Il y a un danger quand le quotient de danger par inhalation est supérieur à 1. Le quotient de danger est à rapprocher d'un effet à seuil. Il faut décrire également les ratios dire c'est que cela représente en terme de norme.

**Tableau 1: Niveaux estimés en 2015 et 2020 en pollution atmosphérique et comparaison aux valeurs guides de l'OMS**

Paramètre	2008	OMS (VG)	2015				2020			
			Concentration sans plan de réduction	Ratio c/V G	Concentration avec plan de réduction	Ratio c/V G	Concentration sans plan de réduction	Ratio c/V G	Concentration avec plan de réduction	Ratio c/VG
NO <sub>2</sub>	41	40	55	1.38	48	1.20	70	1.7	52	1.3
PM10	331	20	443	22.15	348	17.40	553	27.65	284	14.2
SO <sub>2</sub>	2	50	3	0.06	0	/	4		0	/

**Tableau 2: Quotient de danger par inhalation pour le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes**

Paramètre	2008	VTR	2015				2020			
			Conc° sans plan de réduction	Qdi	Conc° avec plan de réduction	Qdi	Conc° sans plan de réduction	Qdi	Conc° avec plan de réduction	Qdi
benzène	16	30	20	0,67	16	0,53	24	0,80	12	0,40
toluène	42	5000	53	0,01	42	0,01	64	0,01	30	0,01
éthylbenzène	8	1000	10	0,01	8	0,01	12	0,01	6	0,01
xylènes	34	100	43	0,43	34	0,34	52	0,52	24	0,24

L'inhalation pour le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes et les dangers qui en résultent sont consignés dans le tableau 2. Pour ces 4 polluants, le quotient de danger reste inférieur à 1. On note là encore l'efficacité des plans de réduction avec des Qdi en baisse. L'excès de risque exprime une notion d'impact sanitaire par effet cancérigène à long terme.

Le calcul de l'excès de risque consiste à multiplier la valeur « Excès de risque ou ER » quand elle existe à la concentration d'exposition. Seuls le benzène et l'éthylbenzène disposent d'une valeur excès de risque :

- Pour le benzène la valeur d'excès de risque est de 7,8.10<sup>-6</sup>.
- Pour l'éthylbenzène, la valeur d'excès de risque est de 2.5.10<sup>-6</sup>.

La population pour l'année 2008 est estimée à 1 722 958 individus.

L'excès de risque collectif lié au cancer (tableau 3) et attribuable en plus grand partie au benzène est de 249 en 2008. Il est amené à croître jusqu'à 439 cancers par an en 2015 si aucune action de réduction des émissions n'est



entreprise, et jusqu'à 686 cancers par an en 2020. Sa croissance sera fortement limitée (357 cancers par an en 2015 et 336 cancers par an en 2020) en mettant en œuvre le plan d'actions de réduction des émissions proposé.

**Tableau 3: Evaluation de l'impact sanitaire en nombre de cancers.**

Paramètre	2009		2015				2020			
	C	CER	CSPR	CER	CPR	CER	CSPR	CER	CPR	CER
benzène	16	1,25.E-4	20	1,56E-4	16	1,3E-4	24	1,9E-4	12	9,4E-5
Ethylbenzène	8	2E-5	10	2,5E-5	8	2E-5	12	3,1E-5	6	1,5E-5
Impact sanitaire	249		439		357		686		336	

C: Concentration; CSPR: Concentration sans plan de réduction; CPR: Concentration avec plan de réduction; CER: Calcul excès de risque

Les taux de mortalité (tableau 4) peuvent également s'analyser en termes de réduction d'espérance de vie, bien que les deux notions soient différentes. La mortalité prématurée due à la pollution provient pour l'essentiel de l'accroissement de cancers à cause des COV et des maladies respiratoires dont les PM10 sont responsables.

**Tableau 4 : augmentation de la mortalité par inhalation de poussières en %.**

	2008	2015		2020	
		sans plan	avec plan	sans plan	avec plan
PM10	331	443	348	553	284
y min	19,20 %	25,69 %	20,18 %	32,07 %	16,47 %
y max	27,14 %	36,33 %	28,54 %	45,35 %	23,29 %
<b>y moy</b>	<b>23,17 %</b>	<b>31,01 %</b>	<b>24,36 %</b>	<b>38,71 %</b>	<b>19,88 %</b>

Le tableau 5 donne le nombre de morts résultant de cette pollution, et le coût correspondant estimé en se basant sur une moyenne de 10 ans d'années de travail perdue par mort prématurée, à un coût de 308 296,5 FCFA l'année (PIB par habitant = 657 dollars US, source FMI 2008). Le taux de mortalité du Mali est pris à 15% (UNICEF, 2009).

**Tableau 5: coût en CFA des années perdues à cause de la pollution**

	2008	2015			2020		
		sans plan	avec plan	bénéfice plan	sans plan	avec plan	bénéfice plan
population	1 722 958	2 424 375			3 094 185		
mortalité/an	25 844	36 366			46 413		
dont poll PM10	5 988	11 277	8 859	2418	17 966	9 227	9 422
dont poll COV	249	439	357	82	686	336	144
total mortalité liée à la pollution	6 238	11 716	9 216	2 500	18 652	9 563	9 566
Nombre année de travail perdu (10 ans/mortalité)	62 376	117 158	92 155	25 003	186 522	95 629	95 658
coût année perdues en CFA	19230379886	36119378388	28411143327	7708234405	57503952518	29482051233	28021901285
coût années	184612286	3476653661	273109584	74555775	553897403	284460870	269436532

perdues PM10	58	3	05	52	95	95	99
coût années	76915122	1352841775	110018492	25265685	211421277	103596413	10782486
perdues COV	7		2	3	9	7	42

Le coût de cet accroissement de mortalité a donc été estimé à environ 36,07 milliards de CFA par an en 2015, et 57,723 milliards de CFA par an en 2020 si aucun plan n'est mis en place. A l'horizon 2020, soit sur une période de 12 ans, le gain santé résultant du plan est estimé à environ 28,01 milliards par an dont 26,893 milliards pour les mortalités par IRA et 1,115 milliards pour les mortalités par cancer. Le tableau 6 donne des indications sur les coûts d'hospitalisation liés à la pollution atmosphérique. En effet, le coût moyen d'une consultation/hospitalisation est de 13 000 FCFA, comprenant le coût d'une consultation et les éventuels arrêts de travail. Le nombre d'hospitalisation et consultations à Bamako pour 2008 est estimée à 133 573 cas, soit un taux d'hospitalisation de 7,8%. Ce taux est appliqué pour 2015 et 2020 soit 187 951 cas d'hospitalisations et/ou consultations en 2015 et 239 878 cas en 2020. Pour information ce taux d'hospitalisation est de 4,3 % à Cotonou et de 8,8 % à Ouagadougou (BURGEAP, 2010).

**Tableau 6: évaluation des coûts d'hospitalisations/consultations liées à la pollution de l'air en millions de francs CFA**

	2008	2015		Bénéfice avec plan	2020		Bénéfice avec plan
		sans plan	avec plan	2015	sans plan	avec plan	2020
concentration PM10	331	443	348		553	284	
y moyen	27,8%	37,3 %	29,3 %		46,5 %	23,9 %	
population	1 722 958	2 424 375			3 094 185		
Hospitalisation IRA	133 573	187 951			239 878		
Hospitalisation IRA dues aux particules	37 183	69 940	54 942	14 998	111 428	57 225	54 203
en équivalent coût	488	918	720	196	1 461	750	711

Le coût de la pollution de l'air à Bamako correspondant aux hospitalisations et consultations à cause des PM10 est évalué à environ 487801809,15 FCFA en 2008, avec une croissance prévisible à 918,33 millions en 2015 et 1,443 milliards sans plan d'actions de réduction de la pollution en 2020. Le plan d'actions proposé réduirait ce montant de 708,426 millions. Le tableau 7 donne le coût global de l'impact santé/pollution de l'air le coût global de l'impact sanitaire de la pollution de l'air sur une période de 12 ans (2008-2020).

**Tableau 7 : Coût global de l'impact de la pollution de l'air sur la santé à Bamako 2008-2020**

Coût des impacts santé de 2008 à 2020 en CFA	sans plan		avec plan		Bénéfice plan
	2008-2015	2015-2020	2008-2015	2015-2020	2008-2020
Mortalité IRA (PM10)	186 027 368 219	225397564 116	121682877845	139392614822	150612377500
Mortalité cancer (COV)	7426976033	6132566515	6542677342	5340372648	1676492556
Consult°/hospitalisation IRA	4916684795	5948426052	4228008015	3678797267	2958305566
total	198640839072	237471684490	132453563195	148411784738	155247175629

Le plan de réduction (tableau 8) permet une réduction du coût global de l'impact sanitaire d'environ 155,46 milliards pour la période de 12 ans allant de 2008 à 2020. Le bénéfice du plan d'actions se répartit de la façon suivante selon les actions envisagées et selon la pollution COV et particules.

Tableau 8: Bénéfice du plan d'action par actions et par polluant

Emissions COV coût en CFA	2008	2020 sans plan	Réduction avec plan	Réduction en %	Part dans la réduction	Bénéfice plan (FCFA)
Emissions totales	12696	19347	10214	52,8		1676492753
Actions hydrocarbures			2250	11,6	22,0	369301818
Actions véhicules			2431	12,6	23,8	398957973
Actions motos			5533	28,6	54,2	908232305

Emissions PM10 coût en FCFA	2008	2020 sans plan	Réduction avec plan	Réduction en %	Part dans la réduction	Bénéfice plan (FCFA)
Emissions totales	51637	86231	41908	48,6		153570682745
Actions hydrocarbures			356	0,4	0,9	1305779986
Actions véhicules			309	0,4	0,7	1131864027
Actions motos			223	0,3	0,5	816903075
Actions voirie			28883	33,5	68,9	105842647598
Actions bois			12136	14,1	29,0	44473488714

Par ordre d'importance, on voit que le programme de revêtement de la voirie est de beaucoup, le plus efficace avec un gain de 105,84 milliards CFA, suivi du plan d'actions lié à l'usage du charbon de bois et du bois dans les ménages (gain de 44,47 milliards) puis l'action sur les hydrocarbures avec un gain de 1,30 milliards (impacts sur les émissions de COV et de PM10).

### VII. Discussion

Les poussières en suspension constituent la pollution atmosphérique principale de la ville de Bamako. La concentration moyenne annuelle mesurée en particules PM10 est de à 331 µg/m<sup>3</sup>, avec des pointes journalières dépassant 900 µg/m<sup>3</sup> alors que la norme journalière de l'OMS est de 50 µg/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 3 jours par an. Cette pollution est responsable de nombreuses maladies respiratoires. En appliquant les formules de l'OMS, on estime que l'augmentation de la mortalité à Bamako due aux poussières est comprise entre 19 et 27%. L'analyse de l'évaluation des émissions et de leur impact sanitaire aux horizons 2015 et 2020 (7 ans et 12 ans) montre que la pollution par les composés organiques volatils et les poussières deviendra inacceptable si rien n'est fait. Le scénario au fil du temps, sans action particulière fait passer en 2020 le nombre de cancers liés au benzène à 686 cas et l'augmentation de la mortalité due aux poussières à un chiffre moyen de 38,7%. La revue documentaire des concentrations dans plusieurs grandes villes Africaines a montré que les concentrations relevées dans le district de Bamako se situent 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.

### VIII. Conclusion

L'étude a permis de caractériser la pollution atmosphérique actuelle de Bamako. Cette pollution de l'air est essentiellement due au trafic automobile (y compris les deux roues), en partie par les émissions directes venant de leurs moteurs à combustion, mais surtout par la mise en suspension de particules provoquées par leur circulation sur des voies poussiéreuses. La forte consommation de bois de chauffe est également un des grands responsables de la pollution de la ville.

Globalement, nous avons constaté que la pollution par le dioxyde de soufre reste très faible en raison de la faible utilisation de fioul lourd à Bamako et d'une activité industrielle restreinte. La pollution par les oxydes d'azote reste à des niveaux acceptables, mais la croissance du parc automobile devrait rendre cette pollution préoccupante dans les années à venir.

La pollution par les composés organiques volatils et en particulier par le benzène est actuellement préoccupante. En effet les niveaux relevés sur le site de la Municipalité en centre-ville de Bamako sont supérieurs à la valeur limite européenne fixée 5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle pour le benzène. Cette pollution est en grande partie due aux



motos à moteurs deux temps. Le benzène est un polluant atmosphérique reconnu cancérigène et selon les résultats des études scientifiques réalisées sur ce thème, il a été estimé que le benzène provoquerait un excès de risque collectif d'environ 215 cancers/an à Bamako.

Les poussières en suspension constituent la pollution atmosphérique principale de la ville de Bamako. La concentration moyenne annuelle mesurée en particules PM10 est de à  $331 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des pointes journalières dépassant  $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alors que la norme journalière de l'OMS est de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à ne pas dépasser plus de 3 jours par an. Cette pollution est responsable de nombreuses maladies respiratoires. En appliquant les formules de l'OMS, on estime que l'augmentation de la mortalité à Bamako due aux poussières est comprise entre 19 et 27 %.

L'analyse de l'évaluation des émissions et de leur impact sanitaire aux horizons 2015 et 2020 (7 ans et 12 ans) montre que la pollution par les composés organiques volatils et les poussières deviendra inacceptable si rien n'est fait. Le scénario au fil de l'eau, sans action particulière fait passer en 2020 le nombre de cancers liés au benzène à 686 cas et l'augmentation de la mortalité due aux poussières à un chiffre moyen de 38,7%.

### VIII Bibliographie

1. 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>
2. AIR-APS (2011). Suivi des polluants réglementés dans la vallée de l'Arve, 43 p. Rapport en ligne : <http://www.air-rhonealpes.fr/>
3. AIRPARIF (2008). Les différents polluants et leur évolution. Récupéré du site <http://www.airparif.asso.fr/pollution/differents-polluants>
4. Amegah K. A. et Agyei-Mensah S. (2017). Urban air pollution in Sub-Saharan Africa: Time for action. *Environmental Pollution*, 220, 738- 743.
5. 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>
6. 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.
7. 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.
8. 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. *Environ Health Perspect*, 109, 389-94.
9. 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.
10. Brunekreef, B. & Holgate, S.T. (2002). Air pollution and Health. *The Lancet*, 360, 1233- 1242.
11. Chambers, L.A. (1968). Classification and extent of air pollution problems. In A.C. STERN - Air Pollution, New York: Academic Press, 1-21.
12. 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.
13. 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,
14. Delaunay, C., Goupil, G., Ravelomanantsoa, H., Person, A., Mazoue, S. & Moranwski, F. (2010). Évaluation de l'exposition des citadins aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne.
15. Doumbia et al. (2013). Physico-chemical characterization of urban atmospheric pollution in West Africa and health impact study. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
16. 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.
17. Englert, N. (2004). Fines particles and human health - a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett*, 149, 235-42.

18. 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.
19. 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>
20. 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.
21. 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.
22. Kim, C.S. & Kang, T.C. (1997).
23. 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.
24. Lave, L.B. & Seskin, E.P. (1970). *Air pollution and Human Health, Sciences*, 169, 723-733.
25. Mauderly, J.L. & Chow, J.C. (2008). Health effects of organic aerosols. *Inhal Toxicol.* 20 (3), 257-88.
26. 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-An-tipolis, 357 p.
27. Nemery, B., Hoet, P.H. & Nemmar, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930 : an air pollution disaster. *Lancet*, 357, 704-708.
28. 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/)
29. 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>
30. 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.
31. Rapport BURGEAP (2009), Etude de la qualité de l'air à Bamako.
32. Rückerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrus, J. & Peters A. (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.*, 23 (10), 555-92.
33. Woolcock, A.J. & Peat, J.K., (1997). Evidence for the increase in asthma worldwide. *Ciba Found Symp*, 206, 122-134.