

# Analyse des effets de la pression atmosphérique sur la santé humaine au Mali

**Daouda M TRAORE**

Enseignant chercheur

Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (USSGB)

Bamako - Mali

**Drissa DIALLO**

Enseignant chercheur

Faculté d'Agronomie et de Médecine Animale (FAMA)

Bamako - Mali

**Drissa DOUMBIA**

Enseignant chercheur

Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (USSGB)

Bamako - Mali

---

**Résumé :** L'objectif de cet article est d'étudier les effets de la pollution atmosphérique sur la santé humaine au Mali. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé des techniques économétriques rigoureuses sur une base de données riche contenant des informations sur la pollution atmosphérique, les caractéristiques socio-démographiques des ménages et des données de température. Ainsi, en utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires, les résultats montrent que les particules aérodynamiques de diamètre inférieur à 2,5 microns ( $PM_{2,5}$ ) ont un effet négatif et statistiquement significatif au seuil de 5% sur le poids à la naissance des enfants. Une augmentation de  $1\mu g/m^3$  du  $PM_{2,5}$  est associée à une diminution d'environ 157 grammes du poids à la naissance des enfants. Aussi, une année supplémentaire d'études dans le niveau secondaire est associée à une augmentation du poids de naissance de l'enfant de 54,5065 grammes. Par ailleurs, les résultats montrent qu'une augmentation de  $1\mu g/m^3$  de  $PM_{2,5}$  est associée à une diminution de 0,1960 points du niveau de bien-être des ménages. De même, le fait que les ménages pauvres, moyens et très riches soient exposés à  $10\mu g/m^3$  de particules aérodynamiques de diamètre inférieur à 2,5 microns, leur niveau de bien-être diminue en moyenne de 4,6801 ; 5,3166 et 8,6714 points respectivement.

**Mots-clés :** Bien-être, Indice de richesse ; Moindre Carré Ordinaire,  $PM_{2,5}$ , Poids à la naissance.

---

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.8387542>



## 1. Introduction

La pollution atmosphérique est l'un des risques environnementaux les plus graves, en particulier dans les grandes villes et les zones très peuplées, où elle a de graves répercussions sur la santé humaine (Lanzi, Dellink, & Chateau, 2018). En 2015, l'air pollué était responsable de 6,4 millions de décès dans le monde dont 2,8 millions dus à la pollution de l'air par les ménages et 4,2 millions par la pollution de l'air ambiant (Landrigan, 2016). En l'absence de mesures efficaces, la pollution de l'air ambiant devrait causer d'ici 2060, entre 6 et 9 millions de décès par an<sup>1</sup>. En diminuant les niveaux de pollution atmosphérique, les pays peuvent réduire la charge de la morbidité imputable aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies, aux maladies du poumon et aux affections respiratoires, chroniques ou aiguës, y compris l'asthme. La pollution atmosphérique n'engendre pas seulement un risque sanitaire, elle a aussi des conséquences néfastes sur le développement économique et social. En effet, en provoquant des maladies et des décès prématurés, la pollution atmosphérique altère la qualité de la vie et abaisse le revenu des pays à travers un affaiblissement de la main d'œuvre productive. La pollution atmosphérique peut avoir aussi un effet durable sur la productivité de bien d'autres façons. Notamment en retardant la croissance des plantes, en réduisant la productivité de l'agriculture ou en rendant les villes moins attractives pour les travailleurs compétents, faisant ainsi baisser la compétitivité des zones urbaines. La pollution atmosphérique peut être d'origine naturel, cependant son aggravation au cours des dernières décennies est la conséquence de l'activité humaine. En effet, l'industrialisation et son corollaire de changement de mode de vie ont entraîné une augmentation des émissions de gaz et d'autres polluants atmosphériques. Au regard du danger que représente la pollution atmosphérique pour l'environnement et la santé avec des répercussions économiques, un changement d'attitude face à ce problème est nécessaire. De ce fait, il s'avère utile de mener une réflexion sur les effets de la pollution atmosphérique sur le bien-être des personnes à travers la santé et sur l'économie.

Le Mali fait face à la fois à une croissance rapide de sa population, à une diminution de ses ressources alimentaires et à une dégradation galopante de son environnement, ces trois facteurs interagissent les uns avec les autres. Les éléments critiques qui animent cette dynamique sont la pauvreté chronique de la population, la productivité nationale dominée par une agriculture de subsistance et le fait que le bois constitue la principale source d'énergie domestique. De plus, la surexploitation des terres arables disponibles et la pratique extensive des activités agricoles tendent à aggraver les problèmes d'érosion des sols et de désertification.<sup>2</sup> Les dommages environnementaux et sanitaires dans le domaine de l'air sont causés par deux phénomènes distincts. Le premier est la pollution de l'air intérieur au sein des habitations et le second est la pollution de l'air extérieur, essentiellement en zone urbaine<sup>3</sup>. La pollution de l'air intérieur résulte principalement de l'utilisation par les ménages de foyers traditionnels

<sup>1</sup> OECD (2016) : The economic consequences of outdoor air pollution.

<sup>2</sup> Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement (2009) : Rapport sur le développement durable

<sup>3</sup> PNUD-PNUE initiative Pauvreté-Environnement Afrique (2008).

fonctionnant au bois et au charbon de bois. Ces derniers constituent 78% du bilan énergétique national. Etant donné que les foyers n'évacuent pas les fumées, la combustion occasionne d'importantes émissions de particules fines qui affectent directement les personnes vivant à proximité. Pour la pollution de l'air extérieur, la taille et l'âge moyen du parc automobile et surtout la production d'électricité par les centrales au diesel constituent entre autres des déterminants importants. En plus, son immense désert du Sahara et la région sahélienne sont considérés comme des sources importantes de particules de poussière troposphériques (Junge, 1979; Middleton, 1985; Schütz, 1980). Ces aérosols ont une signification globale car ils peuvent être un agent efficace pour induire des effets climatiques (Carlson & Benjamin, 1980; Carlson & Caverly, 1977).

L'impact de cette pollution de l'atmosphère sur le bien-être de la population diffère selon les zones de résidence. En milieu urbain, la population augmente vite avec le phénomène de l'exode rural et la qualité de l'air extérieur est affectée par les transports et les industries, soit 0,2% du PIB. La perte du bien-être qui résulte de la pollution de l'air dans les années à venir s'annonce inquiétante à cause des substances nocives émises par les véhicules (plomb, particules fines, soufre, etc.) qui menacent la santé publique notamment en ce qui concerne les maladies des voies respiratoires. Par contre, en milieu rural, la pollution de l'air extérieur par la combustion des déchets et les feux de brousse cause des dommages moindres.

La plupart des travaux empiriques sont essentiellement menés dans les pays développés. Pourtant les pays en voie de développement comme le Mali sont confrontés à de sérieux problèmes liés à la qualité de l'air. Des études sur les effets de la pollution atmosphérique sur la santé au Mali faisant appel à l'outil économétrique en vue d'en tirer une conclusion de politique économique et environnementale durable font défaut dans la littérature. Le présent travail vise à combler ce déficit de recherche sur une question aussi capitale.

Déjà, Ghipponi, Darrigol, Skalova, & Cvjetanović (1971) ont mené une étude sur le lien entre la pollution bactérienne de l'air et la propagation de la méningite cérébro-spinale au Mali et au Burkina Faso entre 1968 et 1969. L'étude au Mali a été réalisée lors d'une épidémie de méningite cérébro-spinale ; deux districts de la ville de Bamako ont été choisis, ceux avec les taux d'infection les plus élevés et les plus bas. L'étude a constaté que le nombre de bactérie en suspension dans l'air dans le district à forte incidence était 10 fois supérieur à celui dans le district à faible incidence. De ce fait, l'amélioration de la qualité de l'air au Mali s'avère un impératif important qui interpelle les décideurs politiques, l'ensemble des bailleurs intervenants dans le domaine de la santé et les personnels de santé. Pour ces derniers, il arrive souvent que la pollution de l'air dans les locaux soient paradoxalement élevée notamment dans les salles d'opération (Cvjetanović, 1958). Pour sa part, le gouvernement du Mali estime qu'il faut restaurer et conserver les ressources naturelles telles que les sols, l'eau, la végétation, la faune terrestre et aquatique et à les gérer de façon à satisfaire les besoins multiples et croissants de la population, notamment les besoins alimentaires, de santé et d'éducation, tout en améliorant le cadre de vie de l'ensemble des citoyens. Cependant, pour une plus grande efficacité des

mesures prises dans ce cadre, il est fondamental d'évaluer les effets de la pollution atmosphérique sur le bien-être des populations à travers la santé et l'activité économique. Ce qui constitue l'objectif principal de la présente recherche.

Pour atteindre cet objectif, nous jugeons opportun de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Comment la pollution atmosphérique affecte-t-elle la qualité de la vie et les comportements ?
- Quels sont les effets de la pollution atmosphérique sur la santé humaine au Mali ?
- Quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur le bien-être des ménages au Mali ?

Afin de trouver des réponses à ces questions, nous nous fixons les objectifs spécifiques suivants :

- Dresser un état des lieux des connaissances actuelles des effets que la pollution atmosphérique pourrait avoir sur la qualité de la vie en général et la santé en particulier ;
- Déterminer la corrélation entre le niveau de pollution de l'air et la santé humaine au Mali à travers le poids des enfants à la naissance ;
- Analyser les comportements des ménages face à la pollution atmosphérique qui affecte leur bien-être.

## **2. Comportement des ménages face à la pollution atmosphérique au Mali**

La qualité de l'air est remarquablement mauvaise dans les pays en développement et une grave pollution atmosphérique impose un lourd fardeau sanitaire et économique à des milliards de personnes (Koichiro & Zhang, 2016). Par exemple, l'exposition annuelle moyenne aux particules fines en Chine était cinq fois plus supérieure à celle des Etats-Unis en 2013 (Brauer et al., 2016). Dans la même année, le niveau moyen annuel des particules fines de diamètre aérodynamique inférieur à  $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) au Mali était de  $28,27733\mu\text{g}/\text{m}^3$  selon l'OCDE. En plus, le Mali fait partie des pays de l'Afrique subsaharienne les moins respirables, occupant le 50<sup>ème</sup> rang sur 54 avec un indice de 9,66 juste avant la Centrafrique (9,33), le Burkina Faso (8,00), le Tchad (7,33) et le Niger (2,66).<sup>4</sup> Ces niveaux élevés de pollution atmosphérique ont d'importants effets négatifs sur divers résultats économiques, notamment la mortalité infantile (Huang, Pan, Guo, & Li, 2018; Landrigan et al., 2019; Lehtomäki et al., 2018), l'espérance de vie (Balakrishnan et al., 2019; Bennett et al., 2019) et l'offre de travail (T. Chang, Graff Zivin, Gross, & Neidell, 2016; Hanna & Oliva, 2015). Pour ces raisons, les décideurs et les économistes considèrent que la pollution de l'air est l'un des principaux obstacles au développement économique.

---

<sup>4</sup> <https://www.agenceecofin.com/sante/2309-50497-classement-des-54-pays-africains-selon-la-qualite-de-l-air>, accessible le 11/11/2019 à 16h10

### **3. Revue de la littérature**

#### **3.1. Revue théorique**

##### **3.1.1. Le bien-être des ménages et la qualité de l'environnement**

L'utilisation des données sur le bien-être des ménages en économie de l'environnement n'a cessé d'augmenter au cours des dernières années. Elle contribue à notre compréhension de la perception et de la valorisation de l'environnement par les individus (Ferrer-i-Carbonell & Gowdy, 2007) et peut ainsi contribuer à légitimer une politique publique et à évaluer l'impact sur le bien-être (Welsch, 2007 ; Helliwell, Layard, & Sachs, 2015). La recherche sur les préoccupations environnementales a une longue tradition axée sur leurs déterminants multiples tels que le revenu, l'âge, le sexe, le type de résidence (Aklin et al., 2013). Mais, très peu d'études traitent de l'impact des préoccupations environnementales sur le bien-être des ménages (Binder & Ward, 2013; Ferrer-i-Carbonell & Gowdy, 2007).

Par ailleurs, la recherche sur le bien-être met en lumière d'autres avantages de la conservation et de l'amélioration du capital naturel, car il existe un certain nombre de canaux par lesquels l'amélioration de la qualité de l'environnement pourrait en soi augmenter le niveau du bien-être des personnes. Ainsi, l'amélioration de la qualité de l'environnement provoque une augmentation du niveau des biens environnementaux d'une part et la réduction des problèmes environnementaux d'autre part. Le fait d'associer le bien-être et les biens environnementaux, l'accès à des environnements de haute qualité peut améliorer le bien-être des personnes grâce à la biophilie et en offrant des espaces ouverts tant pour les interactions sociales que pour les loisirs et les exercices, qui aident à réduire l'anxiété et la dépression et à améliorer la confiance en soi et la santé (Morris, 2003). Etant donné que la santé est invariablement considérée comme un déterminant majeur des niveaux de bien-être, il semble raisonnable de penser que l'amélioration de la santé entraîne également des gains importants en matière de bien-être des personnes. L'établissement de liens entre le bien-être et les problèmes environnementaux, y compris la pollution de l'air peut encore constituer une nouvelle voie importante. Cette voie n'exige pas que les individus soient conscients de la relation de cause à effet entre leur propre santé ou leur bien-être et l'environnement (Welsch, 2006). Toutes fois, la prise de conscience des problèmes environnementaux tels que la pollution atmosphérique et de leurs effets négatifs sur les hommes et les écosystèmes peut contribuer à réduire les niveaux de bien-être des personnes directement et indépendamment des effets sur la santé (Mackerron & Mourato, 2009).

### 3.1.2. Comportement des ménages et demande de la qualité de l'air

La demande de qualité de l'air dépend des impacts sur la santé et des investissements défensifs, mais peu de travaux évaluent l'importance empirique des défenses (Deschênes, Greestone, & Shapiro, 2017). Le consentement à payer pour le bien-être dépend souvent de facteurs qui entrent dans la fonction d'utilité (par exemple, la probabilité de mortalité, la qualité de l'école, les taux de criminalité locaux, etc.) et des investissements compensatoires qui aident à déterminer ces facteurs (Grossman, 1972). Dans une grande variété de contextes, la littérature empirique s'est presque exclusivement concentrée sur les effets directs (par exemple, les résultats pour la santé) de ces facteurs et a laissé les investissements défensifs largement non mesurés. A titre d'exemple, peu d'efforts ont été déployés pour mesurer l'utilisation de médicaments ou de filtres à air pour se protéger contre la mauvaise qualité de l'air (Chay et Greenstone, 2003; Currie & Neidell, 2005). Tous ces investissements défensifs sont coûteux et déplacent la consommation de biens générateurs de services publics. En effet, la théorie économique suggère que ces actions constituent une part importante des coûts des préjudices, car les individus devraient établir l'utilité marginale de leur achat égale à l'utilité marginale d'éviter le préjudice lui-même. Il semble donc raisonnable de supposer que les estimations disponibles du consentement à payer pour une grande variété de facteurs sont largement sous-estimées.

En outre, les premières recherches sur les effets de la pollution sur la santé avaient adopté une approche plutôt fataliste. Les gens et donc les marchés ne sont pas conscients des niveaux de pollution ambiante de sorte qu'une fois dans l'air, rien ne peut être fait pour y remédier (Neidell et Zivin, 2013). Au fur et à mesure que les connaissances sur la pollution de l'air se sont développées tant du point de vue de notre capacité à détecter et à comprendre ses effets sur la santé, l'erreur de cette évaluation initiale est devenue évidente. L'exposition à la pollution de l'air peut être modifiée de diverses façons, notamment à travers les comportements d'évitement, l'achat des filtres à air et des cache-nez, le tri résidentiel, ce qui en fait une variable endogène. Le tri résidentiel constitue le facteur principal de l'endogénéité. En effet, les individus choisissent des emplacements résidentiels en fonction des attributs de cette région et par conséquent ils sont disposés à payer pour consommer ces attributs, ce qui conduit à une affectation non aléatoire de la pollution de l'air.

### **3.2. Revue empirique sur le comportement des ménages et la pollution atmosphérique**

La pollution de l'air par les particules de diamètre aérodynamique inférieur à  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM<sub>2,5</sub>) affecte de nombreuses villes dans les pays en développement causant à la fois des effets sur la santé et une dépression de l'humeur. L'un des obstacles de la mise en œuvre de la réglementation environnementale sur les PM<sub>2,5</sub> est le fait que peu d'études ont été menées sur la perte du bien-être et la dépression de l'humeur causée par les PM<sub>2,5</sub> (Yin et al., 2018). En effet, l'impact de la pollution sur le bien-être des ménages peut se traduire par un consentement implicite à payer (Cuñado & de Gracia, 2013; Di Tella, MacCulloch, & Oswald, 2001; Simon Luechinger, 2007). Dans cette sous-partie, nous passons en revue les travaux appliqués sur le consentement à payer en vue de réduire les effets de la pollution atmosphérique.

Rao (2017) dans ses travaux portant sur la pollution de l'air, notamment l'impact sur la santé et le consentement à payer en Chine de 2013 à 2015, montre que les PM<sub>2,5</sub> ont des impacts significatifs sur les dépenses de santé à court terme (dans la semaine) et à long terme (dans les trois mois). Une réduction de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les PM<sub>2,5</sub> quotidiennes pourrait entraîner des économies annuelles totales d'au moins 75 milliards de yuans (11 milliards de dollars américain) en dépense de santé en Chine.

A l'aide de la base de données de l'enquête chinoise sur les ménages urbains, Yang & Zhang, (2018) ont estimé l'effet de l'exposition à la pollution atmosphérique sur les dépenses de santé des ménages. Pour résoudre les problèmes d'endogénéité potentiels, ils ont effectué des régressions des dépenses de santé des ménages en utilisant une stratégie de variables instrumentales basée sur les effets de propagation spatiaux de la pollution atmosphérique.

Leurs recherches ont révélé qu'une augmentation de l'exposition annuelle aux particules fines (PM<sub>2,5</sub>) correspond à une augmentation de 2,942% des dépenses de santé des ménages. Selon les estimations, le treizième plan quinquennal pour la protection de l'environnement et de l'environnement réduirait les dépenses nationales annuelles en soins de santé de 47,36 milliards de dollars, soit 0,64% du Produit Intérieur Brut (PIB) de la Chine.

### **3.3. Cadre conceptuel**

La pollution atmosphérique affecte la santé humaine principalement par son impact sur les systèmes respiratoire et cardiovasculaire. Plusieurs décennies d'études en épidémiologie et plus récemment en économie ont associé l'exposition à la pollution atmosphérique à une augmentation des risques de mortalité et de morbidité (Pope & Dockery, 2012; Brunekreef & Holgate, 2002). Les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) sont particulièrement nocives pour la santé car elles peuvent pénétrer les poumons et transporter les toxines vers d'autres organes.

Des niveaux élevés de PM2,5 irritent les systèmes respiratoire et cardiovasculaire et peuvent entraîner une aggravation de l'asthme, des maladies pulmonaires, des crises cardiaques et des accidents vasculaires cérébraux (Barwick, Li, Rao, & Zahur, 2018).

Dans cette section, nous fournissons un modèle théorique pour illustrer la relation entre l'effet estimé des PM2,5 sur les dépenses de santé et de consentement à payer pour une meilleure qualité de l'air.

Suivant un cadre de maximisation de l'utilité de la production de santé dans le papier fondamental de Grossman (1972), où les consommateurs choisissent les soins de santé pour atténuer l'effet négatif de l'exposition à la pollution atmosphérique, Barwick et al., (2018) et Deschênes et al., (2017) montrent que l'effet marginal de l'exposition à la pollution atmosphérique sur les dépenses totales de santé fournit une limite inférieure du consentement à payer des consommateurs pour une meilleure qualité de l'air. Bien que la littérature ait largement négligé le rôle de l'évitement et de la perte de qualité de vie, nous présentons ci-dessous un modèle statique pour rendre compte des deux.

Tout d'abord, on suppose que chaque consommateur  $i$  choisit les dépenses médicales ( $M_i$ ) et les dépenses dans la consommation d'autres biens ( $X_i$ ) en fonction de ses contraintes budgétaires. Le consommateur est exposé à la pollution de l'air chaque fois qu'il sort, et nous supposons que l'exposition à la pollution  $E(A, M_i)$  est une fonction croissante et convexe du niveau de la pollution de l'air  $A$  (qui est exogène aux dépenses du consommateur  $i$ ) et des dépenses  $M_i$ , mais pas affectée par les dépenses  $X_i$ .

Le consommateur  $i$  dispose d'un stock de santé  $S_0$ , qui évolue en fonction de son exposition à la pollution atmosphérique et de ses propres dépenses de santé qui atténuent les conséquences négatives de la pollution. En plus, les individus ne sont pas tous malades de la même façon lorsqu'ils sont exposés. Ceci est capté par  $G_i(E_i)$ , où  $G_i$  est une fonction non décroissante spécifique à un individu et qui représente les variations du stock de santé de l'individu par rapport à  $E_i$ . Par conséquent, l'équation du stock de santé peut être écrite comme suit :

$$S_i = S_0 + M_i - G_i(E_i) \quad (1)$$

Ensuite, nous supposons que le consommateur bénéficie d'une assurance-maladie<sup>5</sup>, avec  $\pi$  désignant cette prime et  $p$  la proportion des dépenses de santé qui doit être payée de sa poche. Ainsi, si le consommateur subit des traitements médicaux dont le coût total est  $M_i$ , alors les dépenses personnelles du consommateur sont égales à  $pM_i$  où  $p < 1$ . Tout comme Barwick et al., (2018), le revenu  $Y_i(S_i)$  est composé du revenu non salarié  $Y_0$  qui est exogène et ne dépend pas de la santé, et du revenu salarial  $W_i(S_i)$  qui est affecté par la santé. Le revenu salarial est plus faible avec une détérioration de l'état de santé, par exemple en raison d'une perte de productivité ou de jours de maladie.

Par conséquent, la contrainte budgétaire est :

$$Y_i \equiv Y_0 + W_i(S_i) = \pi + pM_i + X_i \quad (2)$$

<sup>5</sup> La loi n° 09-015 du 26 octobre 2009 a institué la mise en place d'un régime d'Assurance Maladie obligatoire (AMO) et d'un Régime d'Assistance Médicale (RAMED) au Mali.

L'utilité du consommateur  $U(S_i, X_i, E_i)$  dépend du stock de santé ( $S_i$ ), de la consommation d'autres biens et services ( $X_i$ ) et de l'exposition à la pollution ( $E_i$ ). Alors, le consommateur  $i$  choisit de dépenser pour maximiser l'utilité, sous réserve de sa contrainte budgétaire et de l'évolution de la règle du stock de santé :

$$\text{Max}_{\{M_i, X_i\}} U[S_i, X_i, E(A, M_i)], \tag{3}$$

$$S/c: Y_i \equiv Y_0 + W_I(S_i) = \pi + pM_i + X_i \tag{4}$$

$$\text{et } S_i = S_0 + M_i - G_i[E(A, M_i)] \tag{5}$$

Le Lagrangien s'écrit :

$$L_i = U[S_i, X_i, E(A, M_i)] + \lambda_i[Y(S_i) - \pi - pM_i - X_i] \tag{6}$$

Les conditions du premier ordre sont :

$$\frac{\partial L_i}{\partial M_i} = U_S[1 - G'_i(E_i)E_m] + U_E(E_m) + \lambda_i[Y_S(1 - G'_i(E_i)E_m) - p] = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial L_i}{\partial X_i} = U_X - \lambda_i = 0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial L_i}{\partial \lambda_i} = Y(S_i) - \pi - pM_i - X_i \tag{9}$$

où  $U_S, U_E, U_X$  sont respectivement les dérivées partielles de la fonction d'utilité par rapport au stock de santé, de la pollution et de la consommation d'autres biens et services et  $E_m$  est la dérivée de l'exposition  $E$  par rapport aux dépenses de santé. Nous supposons  $U_S > 0, U_X > 0$  et  $U_E < 0$  car la santé et la consommation est souhaitable, mais pas la pollution. Ceci implique que la consommation des dépenses de santé et d'autres biens et services ont des effets positifs sur l'utilité du consommateur mais que la pollution atmosphérique génère un effet négatif.

Soit  $V_i(S_0, Y_0, A)$  la fonction d'utilité indirecte et  $L_i^*(S_0, Y_0, A)$  la valeur optimale du Lagrangien. Suivant Barwick et al., (2018) et Rao, (2017), le consentement marginal ( $CmP$ ) pour la réduction de la pollution atmosphérique peut-être obtenu comme suit :

$$CmP_i = - \frac{\frac{\partial V}{\partial A}}{\frac{\partial V}{\partial Y_0}} = - \frac{\frac{\partial L^*}{\partial A}}{\frac{\partial L^*}{\partial Y_0}} \tag{10}$$

Par le théorème de l'enveloppe, on a

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_i^*}{\partial A} &= \frac{\partial U}{\partial S_i} \left( - \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} \right) + \frac{\partial U}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} + \lambda_i \frac{\partial Y}{\partial S_i} \left( - \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} \right) \\ &= \frac{\partial U}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} - \left( \frac{\partial U}{\partial S_i} + \lambda_i \frac{\partial Y}{\partial S_i} \right) \left( \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} \right) \end{aligned} \tag{11}$$

$$\frac{\partial L_i^*}{\partial Y_0} = \lambda_i \tag{12}$$

Donc :

$$CmP_i = \frac{\frac{\partial U}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} - \left( \frac{\partial U}{\partial S_i} + \lambda_i \frac{\partial Y}{\partial S_i} \right) \left( \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} \right)}{\lambda_i} \quad (13)$$

En prenant les dérivées totales du stock de santé  $S_i$  et de l'exposition à la pollution atmosphérique  $E_i$  par rapport à  $A$ , on obtient les équations suivantes :

$$\frac{dS_i}{dA} = \frac{\partial M_i}{\partial A} - \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} - \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial M_i} \frac{\partial M_i}{\partial A} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{dE_i}{dA} = \frac{\partial E}{\partial A} + \frac{\partial E}{\partial M_i} \frac{\partial M_i}{\partial A} = 0 \quad (15)$$

En réorganisant les équations (14) et (15), puis en les remplaçant dans l'équation (13), on obtient :

$$CmP_i = \frac{1}{\lambda_i} \frac{\partial U}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} - \frac{1}{\lambda_i} \frac{\partial U}{\partial S_i} \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial A} - \frac{\partial M_i}{\partial A} \left[ \frac{\partial Y}{\partial S_i} - \frac{\partial G_i}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial M_i} \frac{\partial Y}{\partial S_i} \right] \quad (16)$$

Le premier terme saisit la perte d'utilité monétisée en raison du niveau de consommation sous optimal causé par l'exposition à la pollution de l'air (par exemple le comportement d'évitement). Le second terme désigne la désutilité d'une réduction du stock de santé. Enfin, le troisième terme mesure la réponse des dépenses de santé dues à la pollution atmosphérique.

## 4. Données et méthodologie

### 4.1. Source des données

Les données relatives à la variable dépendante et les caractéristiques socio-démographiques individuelles et du ménage proviennent de la quatrième Enquête Démographique et de Santé du Mali (EDSM-IV) de 2006. En effet, ce choix période se justifie par le fait que les données liées à la pollution atmosphérique au Mali s'étalent de 1985 à 2006.

Cette quatrième enquête (EDSM-IV) a touché un échantillon de 12 998 ménages dans lesquels toutes les femmes de 15 à 49 ans ont été enquêtées. Dans un tiers des ménages, ont également été enquêtés tous les hommes de 15 à 49 ans. Le taux de réponse a été de 99% chez les femmes contre 91% chez les hommes enquêtés. La présente enquête constitue donc une source d'information très riche.

Nos données sur la pollution atmosphérique par le  $PM_{2,5}$  de 2006 proviennent de la base de données sur les poussières de l'Institut International de Recherche sur le Climat et la Société de

l'Université de Colombia.<sup>6</sup> Les données sur la température sont fournies par la base de données de l'Université du Luxembourg de l'année 2006. En plus, ces données de  $PM_{2,5}$  et de température sont disponibles de façon mensuelle pour les huit régions du Mali en plus du district de Bamako. L'avantage de ces données fiables permet de minimiser les risques de régressions fallacieuses résultant de l'hétérogénéité des données.

#### 4.2. Questions économétriques

Afin de répondre aux deux questions spécifiques ci-dessus, nous allons faire la modélisation empirique en deux parties. La première partie vise à répondre au bien-être des individus et la seconde partie s'intéresse aux disparités des effets de la pollution atmosphérique entre les pauvres et les riches.

Suivant Ferreira et al. (2013); Ferrer-i-Carbonell & Gowdy (2007); Luechinger (2007); Mackerron & Mourato (2009), nous spécifions la fonction de bien-être individuel comme suit :

$$BEI_{irm} = \beta_0 + \beta_1 PM_{2,5rm} + \beta_2 X_{irm} + \beta_3 Z_{rm} + \alpha_r + \gamma_m + \delta_i + \varepsilon_{irm} \quad (16)$$

Où  $BEI_{irm}$  est le bien-être de l'individu  $i$  vivant dans la région  $r$  au mois  $m$ ,  $PM_{2,5rm}$  est le niveau des particules aérodynamiques de diamètre inférieur à  $2,5 \mu g/m^3$  dans la région  $r$  au mois  $m$ ,  $X_{irm}$  représente les caractéristiques socio-démographiques de l'individu  $i$  vivant dans la région  $r$  au mois  $m$ ,  $Z_{rm}$  mesure les températures moyennes enregistrées dans la région  $r$  au mois  $m$ . Les constantes  $\alpha_r$ ,  $\gamma_m$  et  $\delta_i$  indiquent respectivement les effets fixes par région, par mois et par individu. Enfin, le terme  $\varepsilon_{irm}$  représente le terme d'erreur.

Dans les études antérieures, les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) et le probit ordonné ont été utilisés comme méthodes empiriques courantes (Ferrer-i-Carbonell & Gowdy, 2007; Simon Luechinger, 2007). Bien que l'utilisation du probit ordonné semble théoriquement plus appropriée étant donné que les mesures du bien-être sont ordinales, Ferrer-i-Carbonell & Frijters (2004) ont constaté que les deux approches pouvaient fournir des résultats robustes et similaires. Cette affirmation est corroborée par les résultats de Mackerron & Mourato, (2009), Van Den Berg, & Ferrer-I-Carbonell (2007), Levinson (2012) et d'autres. Par ailleurs, d'autres travaux antérieurs montrent que les excédents compensatoires estimés sur la base des MCO et des modèles probit ordonnés diffèrent moins de 3% en moyenne (Frey, Luechinger, & Stutzer, 2004) ; Luechinger & Raschky (2009).

<sup>6</sup> Disponible sur le lien suivant : [http://iridl.ldeo.columbia.edu/home/.nasa\\_roses\\_a19/Dust\\_model/.dust\\_mon\\_avg/.dust\\_pm25\\_sconcl0\\_mon/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/home/.nasa_roses_a19/Dust_model/.dust_mon_avg/.dust_pm25_sconcl0_mon/)

De plus, l'un des avantages du modèle de probabilité linéaire par rapport aux approches logit ou probit est qu'il est possible d'estimer les variables indicatrices propres au groupe lorsque le résultat dichotomique d'intérêt ne varie pas au sein du groupe (Caudill, 1988). En outre, l'utilisation des MCO nous permet d'interpréter facilement les implications des coefficients et de faire des comparaisons entre eux. Par conséquent, nous utilisons les MCO comme principal algorithme de régression pour l'interprétation.

Pour répondre à la deuxième question spécifique relative aux disparités des effets de la pollution atmosphérique entre les pauvres et les riches, nous estimons le modèle ci-dessous :

$$\begin{aligned}
 BEI_{jrm} = & \beta_0 + \beta_1 PM_{2,5rm} + \beta_2 PM_{2,5rm} Pauvre_r + \beta_3 PM_{2,5rm} Moyen_r \\
 & + \beta_4 PM_{2,5rm} Riche_r + \beta_5 PM_{2,5rm} TrèsRiche_r + \beta_6 Pauvre_{jr} \\
 & + \beta_7 Moyen_{jr} + \beta_8 Riche_{jr} + \beta_9 TrèsRiche_{jr} + \beta_{10} Z_{rm} + \alpha_r + \gamma_m \\
 & + \mu_{jrm} \quad (17)
 \end{aligned}$$

### 4.3. Résultats et interprétations

L'exposition à la pollution de l'air a des effets directs sur l'accumulation et l'utilisation du capital humain. Par conséquent, les préoccupations concernant la qualité de l'environnement et son impact sur le bien-être des populations sont des arguments fondamentaux pour l'adoption d'une législation environnementale dans la plupart des pays.

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode des moindres carrés ordinaires pour les estimations. Cependant, nous avons utilisé le probit ordonné en annexe afin de comparer les résultats obtenus par la méthode des moindres carrés ordinaires. Les résultats du probit ordonné sont dans l'ensemble presque identiques à ceux trouvés par la méthode des moindres carrés ordinaires.

Les résultats de l'estimation de l'équation (16) par les moindres carrés ordinaires sont présents dans le tableau 1. L'estimation du modèle montre qu'il y'a dix-sept paramètres significatifs sur vingt-cinq.

En s'intéressant aux caractéristiques du ménage, les résultats du tableau 3.1 montrent qu'il existe une association positive entre la taille du ménage et le bien-être des ménages. Ainsi, lorsque la taille du ménage augmente d'une unité, le niveau de bien-être augmente de 0,0240 points. Aussi, Ferreira et al., (2013) trouvent qu'une augmentation d'une unité de la taille du ménage est associée à une augmentation du niveau de bien-être de 0,0268 points. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Cuñado & de Gracia (2013) en Espagne.

Par ailleurs, l'indice de richesse contribue globalement de façon positive au bien-être du ménage. Les résultats indiquent que ces effets sont significatifs au seuil de 1% pour les catégories pauvre, moyen, riche et très riche. Les coefficients indiquent que les effets de l'indice de richesse sur le bien-être du ménage augmentent quand on passe de la catégorie pauvre à la catégorie riche. En revanche, le fait d'appartenir à un ménage riche contribue plus au bien-être que d'appartenir à un ménage très riche.

Cet écart<sup>7</sup> de 0,0455 reste faible et pourrait s'expliquer par le fait que l'effectif des riches est supérieur à celui des très riches dans les données. Ces résultats sont conformes à la littérature qui montre une association positive entre le niveau de bien-être du ménage et son revenu (Ambrey et al., 2014; Cuñado & de Gracia, 2013; Du et al., 2018; Ferreira et al., 2013; Ferreri-Carbonell & Gowdy, 2007; Simon, 2007; Orru et al., 2016; Sun et al., 2017; Yuan, Shin, & Managi, 2018).

S'agissant de l'éducation, les résultats montrent que le niveau d'éducation de la mère contribue positivement et significativement au bien-être du ménage. On constate qu'une augmentation d'une année d'études dans le fondamental, le secondaire et le supérieur est associée à une augmentation de 0,1099 ; 0,0853 et de 0,2881 points respectivement du niveau du bien-être du ménage. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Cuñado & de Gracia, (2013); Luechinger (2007;) Yuan et al., (2018).

En partant de la croyance religieuse, il ressort des résultats de la régression que le fait que le ménage soit animiste ou n'appartenant à aucune religion a des effets négatifs et significatifs sur le bien-être. Ces coefficients sont significatifs au seuil de 1%. Par ailleurs, le fait que l'ethnie du ménage est Soninké/Sarakolé, Bobo et Ressortissants ou non de la zone CEDEAO a des effets négatifs et significatifs aux seuils de 5% pour les premiers et de 1% pour les autres respectivement sur le bien-être des ménages. En revanche, le fait que l'ethnie du ménage est Sonrhäï, Dogon ou Sénoufo/Mianka a une influence positive et significative aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement sur le bien-être des ménages.

---

<sup>7</sup> Cet écart est obtenu en faisant la différence entre les coefficients 0,1748 et 0,1293.

Tableau 1 : Régression par les MCO du bien-être

Variabiles	Coefficients	Erreur type
PM <sub>2,5</sub>	0,0456	0,0323
Température	0,0033	0,0021
Age du chef de ménage	0,000	0,0002
Sexe du chef de ménage	0,0020	0,0083
Taille du ménage	0,0240***	0,0018
Indice de richesse (Très pauvre)	<i>Référence</i>	
Pauvre	0,0654***	0,0198
Moyen	0,1138***	0,0203
Riche	0,1748***	0,0218
Très riche	0,1293***	0,0228
Education de la mère (Aucun)	<i>Référence</i>	
Fondamental	0,1099***	0,0206
Secondaire	0,0853***	0,0320
Supérieur	0,2881****	0,0839
Religion (Musulman)	<i>Référence</i>	
Chrétien	0,0536	0,0349
Animiste	-0,1603***	0,0422
Aucune religion	-0,1331***	0,0171
Ethnie (Bambara)	<i>Référence</i>	
Malinké	-0,0478	0,0300
Peulh	0,0323	0,0226
Soninké/Sarakolé	-0,0616**	0,0266
Sonrhäï	0,0448*	0,0240
Dogon	0,0625**	0,0262
Tamasheq	0,0092	0,0282
Sénoufo/Mianka	0,1929***	0,0220
Bobo	-0,2129***	0,0487
Ressortissants CEDEAO	-0,1907***	0,0438
Autres Pays	-0,1591***	0,0422

**Nombre d'observations : 6386**

**F : 73,41**

**Prob > F : 0,0000**

**R<sup>2</sup> : 0,2239**

\*\*\*, \*\* et \* : Significatif à 1%, 5% et 10 %

**Source :** Auteur à partir des données de l'étude

Les coefficients des variables PM<sub>2,5</sub> pauvre, PM<sub>2,5</sub> moyen, PM<sub>2,5</sub> riche et PM<sub>2,5</sub> très riche du terme d'interaction pollution-groupe de revenu mesurent l'écart de réponse aux augmentations de pollution entre la catégorie des pauvres (ou moyens ou riches ou très riches) et la catégorie des très pauvres omises.

Les coefficients des variables pauvre, moyen, riche et très riche mesurent l'écart « absolu » du bien-être mesuré par le nombre de personnes malades entre la catégorie des pauvres (ou moyens ou riches ou très riches) et la catégorie des très pauvres omises.

Dans le tableau 6, nous présentons des résultats dans lesquels nous interagissons les différentes catégories de richesse avec le niveau de pollution de l'air ambiant. Sur la base des résultats de la colonne 2, nous constatons que plus le niveau du  $PM_{2,5}$  augmente plus le nombre de malades dans les ménages augmente. En d'autres termes, une augmentation de  $1\mu/g^3$  de  $PM_{2,5}$  est associée à une augmentation de 0,1960 points du niveau de bien-être des ménages mesuré en termes de nombre de personnes malades dans le ménage<sup>8</sup>. Ferreira et al. (2013) ont trouvé qu'une augmentation de  $1\mu/g^3$  des concentrations de dioxyde de soufre était associée à une diminution de bien-être de 0,016 point sur l'échelle de satisfaction à l'égard de la vie en Europe. Par contre, Luechinger, Meier, & Stutzer (2010) ont trouvé sur une échelle de 4 points que les impacts du dioxyde de soufre sur le bien-être variaient entre -0,001 et -0,002.

Il ressort du tableau 2 que l'augmentation de la température est associée à une diminution du niveau de bien-être des ménages. Ainsi, une augmentation de la température d'un degré Celsius conduit à une diminution de la satisfaction du niveau de vie des ménages de 0,0085 point.

En ce qui concerne les coefficients associés aux variables pauvre, moyen et très riche, on remarque qu'ils sont tous positifs et significatifs au seuil de 1%. Ils mesurent respectivement les écarts de pollution atmosphérique entre les ménages pauvre, moyen et très riche et les ménages très pauvres. Ces écarts sont élevés pour les ménages très riches que les ménages moyens. De même, les écarts de pollution pour ces derniers sont élevés par rapport aux ménages pauvres. Ces résultats suggèrent que par rapport aux ménages très pauvres, les ménages très riches réagissent plus lorsque la pollution de l'air est plus élevée. Ces réactions peuvent être des investissements dans des équipements d'autoprotection tels que les masques, les casques. Pour les variables  $PM_{2,5}$ Pauvre,  $PM_{2,5}$ Moyen et  $PM_{2,5}$ Trèsriche, les coefficients représentent les termes d'interaction entre la pollution atmosphérique et les groupes de revenu et mesurent la différence de réponse à l'augmentation de pollution entre les ménages pauvres, moyens et très riches et les ménages très pauvres. Ces coefficients sont tous négatifs et significatifs au seuil de 1%. Ce qui indique que l'effet de la pollution atmosphérique sur le bien-être diminue au fur et à mesure que le revenu du ménage diminue.

<sup>8</sup> Nous pouvons reformuler cette interprétation comme suite : Une augmentation de  $1\mu/g^3$  de  $PM_{2,5}$  est associée à une diminution de 0,1960 points du niveau de bien-être des ménages. En effet, dans la présente étude nous rappelons que nous utilisons le nombre de personnes malades comme proxy du bien-être. En plus, la littérature montre une association négative entre le bien-être des populations et la pollution atmosphérique (Ambrey, Fleming, & Chan, 2014; Du et al., 2018; Ferreira et al., 2013; Luechinger, 2007; Orru et al., 2016).

Ainsi, pour les classes pauvres, moyennes et très riches n'ayant pas subi d'exposition de la pollution de l'air, le niveau du bien-être diminue en moyenne de 0,2329 ; 0,4654 et 0,7216 point respectivement. De même, le fait que les ménages pauvres, moyens et très riches soient exposés à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules aérodynamiques de diamètre inférieur à 2,5 microns, leur niveau de bien-être diminue en moyenne de 4,6801 ; 5,3166 et 8,6714 points respectivement<sup>9</sup>. Il ressort de ces résultats que pour un même niveau de pollution de l'air, les effets sont grands en valeur absolue pour les ménages très riches que ceux moyens et pauvres. Ces résultats ne sont pas surprenants car nous rappelons que nous avons utilisé le nombre de personnes malades dans les ménages comme le proxy du niveau de bien-être.

**Tableau 2 : Régression par les MCO des disparités des effets du PM<sub>2,5</sub> sur les groupes de revenu.**

Variables	Coefficients	Erreur type
PM <sub>2,5</sub>	0,1960**	0,0930
Température	-0,0085***	0,0021
Indice de richesse (Très pauvre)	<i>Référence</i>	
Pauvre	0,2329***	0,0651
Moyen	0,4654***	0,0811
Riche	0,0324	0,0872
Très riche	0,7216***	0,1009
PM <sub>2,5</sub> Pauvre	-0,4913***	0,0971
PM <sub>2,5</sub> Moyen	-0,5782***	0,1224
PM <sub>2,5</sub> Riche	0,1651	0,1320
PM <sub>2,5</sub> Très riche	-0,9393***	0,1569
Constante	1,2284***	0,0785

**Nombre d'observations : 6 389**

**F : 122,21**

**Prob > F : 0,0000**

**R<sup>2</sup> : 0,1608**

**Source :** Auteur à partir des données de l'étude

## 5. Conclusion

En utilisant dans un premier temps la méthode des moindres carrés ordinaires, on trouve une association positive mais non significative entre la pollution atmosphérique et le bien-être des ménages. Ce résultat surprenant est contraire à la littérature existante. Pour les caractéristiques du ménage, les résultats montrent une association positive et significative au seuil de 1% entre la taille du ménage et le bien-être. Ainsi, le bien-être du ménage augmente de 0,024 point suite

<sup>9</sup> Pour cette valeur, nous avons fait ce calcul usuel pour l'interprétation du terme d'interaction entre les variables PM<sub>2,5</sub> et pauvre :  $0,2329 + (-0,4913*10) = -4,6801$

à une augmentation de la taille du ménage d'une unité. Quant aux groupes de revenu, l'indice de richesse contribue globalement de façon positive et significative au bien-être du ménage. Par ailleurs, l'éducation de la mère influence positivement le bien-être du ménage. Ainsi, les résultats indiquent qu'une augmentation d'une année d'études dans les cycles fondamental, secondaire et supérieur est associée à une augmentation de 0,1099 ; 0,0853 et de 0,2881 points respectivement du niveau du bien-être du ménage. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Cuñado & de Gracia (2013); Luechinger (2007); Yuan et al., (2018).

S'agissant de l'appartenance religieuse, les ménages animistes et ceux n'ayant aucune religion ont un effet négatif et significatif sur le bien-être. En plus, le fait que l'ethnie du ménage est Soninké/Sarakolé, Bobo et Ressortissants ou non de la zone CEDEAO a des effets négatifs et significatifs aux seuils de 5% pour les premiers et de 1% pour les autres respectivement sur le bien-être des ménages. En revanche, le fait que l'ethnie du ménage est Sonrhäi, Dogon ou Sénoufo/Mianka a une influence positive et significative aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement sur le bien-être des ménages.

Dans un second temps, nous avons également utilisé la méthode des moindres carrés ordinaires pour analyser les disparités des effets de la pollution atmosphérique entre les groupes de revenu des ménages. Ces résultats indiquent qu'une augmentation de  $1\mu/g^3$  de particules fines est associée à une diminution de 0,1960 point du niveau de bien-être des ménages. De même, le fait que les ménages pauvres, moyens et très riches soient exposés à  $10\mu g/m^3$  de particules aérodynamiques de diamètre inférieur à 2,5 microns, leur niveau de bien-être diminue en moyenne de 4,6801 ; 5,3166 et 8,6714 points respectivement. La littérature montre une association négative entre le bien-être des populations et la pollution atmosphérique (Ambrey, Fleming, & Chan, 2014; Du et al., 2018; Ferreira et al., 2013; Luechinger, 2007; Orru et al., 2016). Quant aux facteurs climatiques, une augmentation de la température d'un degré Celsius conduit à une diminution de la satisfaction du niveau de vie des ménages de 0,0085 point.

A la lumière de ces résultats, une mesure de politique économique serait de diminuer l'exposition à la pollution de l'air à travers l'information de la population pour les jours de pics de pollution. La substitution des moyens traditionnels de cuisson et de chauffage par les moyens modernes et moins polluants peut limiter l'exposition de la population aux effets néfastes de la pollution atmosphérique.

## REFERENCES

- Adhvaryu, A. R., Bharadwaj, P., Fenske, J., Nyshadham, A., & Stanley, R. (2016). Dust and Death: Evidence from the West African Harmattan. *Working Paper*, 44(0). Retrieved from <http://www.csae.ox.ac.uk/workingpapers/pdfs/csae-wps-2016-03.pdf>
- Afroz, R., Hassan, M., Ibrahim, N. A., & Awang, M. (2005). Willingness to pay for air quality improvements in Klang Valley Malaysia. *American Journal of Environmental Sciences*, 194–201. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Rafia\\_Afroz/publication/26413610\\_Willingness\\_to\\_Pay\\_for\\_Air\\_Quality\\_Improvements\\_in\\_Klang\\_Valley\\_Malaysia/links/54f435430cf299c8d9e65b19/Willingness-to-Pay-for-Air-Quality-Improvements-in-Klang-Valley-Malaysia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rafia_Afroz/publication/26413610_Willingness_to_Pay_for_Air_Quality_Improvements_in_Klang_Valley_Malaysia/links/54f435430cf299c8d9e65b19/Willingness-to-Pay-for-Air-Quality-Improvements-in-Klang-Valley-Malaysia.pdf)
- Aklin, M., Bayer, P., Harish, S. P., & Urpelainen, J. (2013). *Understanding Environmental Policy Preferences: New Evidence from Brazil* \*. Retrieved from <http://www.worldvaluessurvey.org/>
- Alberini, A., Bigano, A., Post, J., & Lanzi, E. (2016). Air pollution and human health: approaches and issues when valuing the costs of inaction. *OECD Environment Working Papers*, (108), 49. <https://doi.org/10.1787/5jlww02k83r0-en>
- Badji, M. S. (2006). Analyse de l'évolution des déterminants de la santé nutritionnelle des enfants âgés de moins de cinq ans au Sénégal. In *Perspective Afrique* (Vol. 2). Retrieved from [www.perspaf.org](http://www.perspaf.org)
- Bai, R., Lam, J. C. K., & Li, V. O. K. (2018). A review on health cost accounting of air pollution in China. *Environment International*, 120(August), 279–294. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.001>
- Balakrishnan, K., Dey, S., Gupta, T., Dhaliwal, R. S., Brauer, M., Cohen, A. J., ... Dandona, L. (2019). The impact of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across the states of India: the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health*, 3(1), e26–e39. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30261-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30261-4)
- Balakrishnan, K., Ghosh, S., Thangavel, G., Sambandam, S., Mukhopadhyay, K., Puttaswamy, N., ... Thanasekaraan, V. (2018). Exposures to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and birthweight in a rural-urban, mother-child cohort in Tamil Nadu, India. *Environmental Research*, 161(November 2017), 524–531. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.050>
- Bamako, M. du D. de. (2001). *Plan strategique du développement du District de Bamako* (p. 162). p. 162. Retrieved from [http://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/BamakoCDS\\_ReportFrench.pdf](http://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/BamakoCDS_ReportFrench.pdf)

- Vrontisi, Zoi, Abrell, J., Neuwahl, F., Saveyn, B., & Wagner, F. (2016). Economic impacts of EU clean air policies assessed in a CGE framework. *Environmental Science and Policy*, 55, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.004>
- Wang, X. J., Zhang, W., Li, Y., Yang, K. Z., & Bai, M. (2006). Air quality improvement estimation and assessment using contingent valuation method, a case study in Beijing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120(1–3), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9054-z>
- Welsch, H. (2006). Environment and happiness: Valuation of air pollution using life satisfaction data. *Elsevier*, 801–813. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800905004179>
- Welsch, H. (2007). Environmental welfare analysis: A life satisfaction approach. *Elsevier*, 544–551. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906003570>
- Welsch, H., & Kühling, J. (2009). Using happiness data for environmental valuation: Issues and applications. *Journal of Economic Surveys*, 23(2), 385–406. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2008.00566.x>
- Westergaard, N., Gehring, U., Slama, R., & Pedersen, M. (2017). Ambient air pollution and low birth weight - are some women more vulnerable than others? *Environment International*, 104, 146–154. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2017.03.026>
- WHO. (2012). *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012 - Description of method*. (1), 2012–2014. Retrieved from [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf?ua=1)
- WHO. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization. (2006). *Air Quality Global Update 2005*. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90109-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90109-6)
- World Health Organization. (2018). Air Pollution and Child Health. *American Academy of Pediatrics*, 113, 1037–1043. Retrieved from [http://pediatrics.aappublications.org/content/113/Supplement\\_3/1037.full.html](http://pediatrics.aappublications.org/content/113/Supplement_3/1037.full.html)
- World Health Organization (WHO). (2016). *Burning Opportunity : Clean Household Energy for Health, Sustainable Development, and Wellbeing of Women and Children*. XI. Retrieved from [https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/9789241565233\\_eng.pdf](https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/9789241565233_eng.pdf)
- World Health Organization (WHO). (2018). *Pollution de l'air et santé de l'enfant*. Retrieved

from [www.who.int/about/licensing](http://www.who.int/about/licensing).

- Yang, J., & Zhang, B. (2018). Air pollution and healthcare expenditure: Implication for the benefit of air pollution control in China. *Environment International*, 120, 443–455. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.011>
- Yin, H., Pizzol, M., Jacobsen, J. B., & Xu, L. (2018). Contingent valuation of health and mood impacts of PM2.5 in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 630, 1269–1282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.275>
- Yoram, B.-P. (1967). *The Production of Human Capital and the Life Cycle of Earnings*. 75(4), 352–365.
- Yuan, L., Shin, K., & Managi, S. (2018). Subjective Well-being and Environmental Quality: The Impact of Air Pollution and Green Coverage in China. *Ecological Economics*, 153(September 2017), 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.033>
- Zheng, S., Cao, J., Kahn, M. E., & Sun, C. (2014). Real Estate Valuation and Cross-Boundary Air Pollution Externalities: Evidence from Chinese Cities. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 48(3), 398–414. <https://doi.org/10.1007/s11146-013-9405-4>
- Zheng, S. Q., & Kahn, M. E. (2008). Land and residential property markets in a booming