

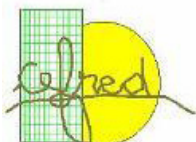
REPUBLIQUE DU BENIN

FRATERNITE-JUSTICE-TRAVAIL

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE DOCTORALE ECONOMIE-GESTION / FACULTE DES  
SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION (FASEG)



CENTRE D'ETUDES, DE FORMATION ET DE RECHERCHES EN DÉVELOPPEMENT

CONFERENCE DES INSTITUTIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE  
RECHERCHE ECONOMIQUE ET DE GESTION EN AFRIQUE



NOUVEAU PROGRAMME DE TROISIEME CYCLE  
INTERUNIVERSITAIRE EN ECONOMIE (NPTCI)  
PROGRAMME DE Ph.D EN ECONOMIE



**AFRICAN ECONOMIC RESEARCH CONSORTIUM**  
Consortium pour la Recherche Economique en Afrique

*Thèse de Doctorat (Ph.D) ès Sciences Economiques*

**COÛTS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE  
DANS LA VILLE DE COTONOU AU BÉNIN**

**Présentée et soutenue publiquement par :**

**Fanougbo AVOCE VIAGANNOU**

**Le 30 juillet 2012**

**Directeurs de thèse**

**Aké G.M. N'GBO**

Professeur Titulaire de Sciences Économiques  
Université Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire

**Fulbert AMOUSSOUGA GERO**

Professeur Titulaire de Sciences Économiques  
Directeur de l'Ecole Doctorale Economie-Gestion  
Directeur du CEFRED  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

**JURY**

**Président**

**Monsieur Adama DIAW**

Professeur Titulaire, Université Gaston Berger de St Louis, Sénégal

**Suffragants**

- **Monsieur Fulbert AMOUSSOUGA GERO**

Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin - Co-directeur

- **Monsieur Zié BALLO**

Maître de Conférences Agrégé, Université de Cocody, Côte d'Ivoire - Rapporteur

- **Monsieur Kako NUBUKPO**

Maître de Conférences Agrégé, Université de Lomé, Togo - Rapporteur

- **Monsieur Denis ACCLASSATO**

Maître de Conférences Agrégé, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

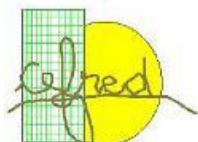
REPUBLIQUE DU BENIN

FRATERNITE-JUSTICE-TRAVAIL

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE DOCTORALE ECONOMIE-GESTION / FACULTE DES  
SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION (FASEG)



CENTRE D'ETUDES, DE FORMATION ET DE RECHERCHES EN DÉVELOPPEMENT

CONFERENCE DES INSTITUTIONS D'ENSEIGNEMENT ET DE  
RECHERCHE ECONOMIQUE ET DE GESTION EN AFRIQUE



NOUVEAU PROGRAMME DE TROISIEME CYCLE  
INTERUNIVERSITAIRE EN ECONOMIE (NPTCI)  
PROGRAMME DE Ph.D EN ECONOMIE



**AFRICAN ECONOMIC RESEARCH CONSORTIUM**  
Consortium pour la Recherche Economique en Afrique

*Thèse de Doctorat (Ph.D) ès Sciences Economiques*

**COÛTS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE  
DANS LA VILLE DE COTONOU AU BÉNIN**

**Présentée et soutenue publiquement par :**

**Fanougbo AVOCE VIAGANNOU**

**Le 30 juillet 2012**

**Directeurs de thèse**

**Aké G.M. N'GBO**

Professeur Titulaire de Sciences Économiques  
Université Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire

**Fulbert AMOUSSOUGA GERO**

Professeur Titulaire de Sciences Économiques  
Directeur de l'Ecole Doctorale Economie-Gestion  
Directeur du CEFRED  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

**JURY**

**Président**

**Monsieur Adama DIAW**

Professeur Titulaire, Université Gaston Berger de St Louis, Sénégal

**Suffragants**

- **Monsieur Fulbert AMOUSSOUGA GERO**

Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin - Co-directeur

- **Monsieur Zié BALLO**

Maître de Conférences Agrégé, Université de Cocody, Côte d'Ivoire - Rapporteur

- **Monsieur Kako NUBUKPO**

Maître de Conférences Agrégé, Université de Lomé, Togo - Rapporteur

- **Monsieur Denis ACCLASSATO**

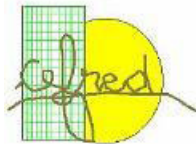
Maître de Conférences Agrégé, Université d'Abomey-Calavi, Bénin



**AFRICAN ECONOMIC RESEARCH CONSORTIUM**  
Consortium pour la Recherche Economique en Afrique



La présente thèse est réalisée grâce aux appuis financiers et techniques du Nouveau Programme de Troisième Cycle Interuniversitaire (NPTCI) et du Consortium pour la Recherche Economique en Afrique (CREA).



Dans le cadre de la rédaction de cette thèse, les travaux de recherche ont été conduits dans le Centre d'Etudes, de Formation et de Recherche en Développement (CEFRED) de l'Université d'Abomey-Calavi, dans lequel nous avons bénéficié d'un appui financier et technique.

*L'Université d'Abomey-Calavi n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme étant propres à leur auteur*

# Dédicace

A

*Johanna O. D. ; Bérénice O. T. et Blessing I. Y.*

*Suivez cet exemple*

## Remerciements

Tous nos remerciements vont aux dirigeants du NPTCI, qui nous ont permis de suivre notre formation doctorale et la rédaction de la présente thèse avec succès, dans le cadre de leur programme de Ph.D en Economie. Nous remercions les autorités du CREA pour leur aide financière d'appui à la thèse, à notre égard.

Nous remercions vraiment nos deux directeurs de thèse, les Professeurs Aké G. M. N'GBO et Fulbert AMOUSSOUGA GERO, pour leur rigueur scientifique et leur disponibilité pour notre encadrement. Malgré leurs calendriers chargés, ils n'ont ménagé aucun effort pour nous montrer le chemin de la recherche ; infiniment merci à vous chers Professeurs.

Pour nous avoir donné de bonnes conditions de formation, nous remercions toutes les autorités de la FSEG/SOA de l'Université de Yaoundé II au Cameroun. Nous disons un grand merci aux autorités de l'URFSEG de l'Université de Cocody Abidjan en Côte-d'Ivoire et de celles de la FASEG de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) au Bénin. Nous remercions également les autorités de l'Ecole Nationale d'Economie Appliquée et de Management (ENEAM) de l'UAC pour leur soutien de tout genre. Nous disons merci pour leur soutien fort apprécié, aux autorités des deux centres de recherche (le CREMIDE et le CEFRED) dans lesquels notre encadrement est assuré.

Tous nos sincères remerciements aux Professeurs Kako NUBUKPO de l'Université de Lomé et Zié BALLO de l'Université Cocody-Abidjan, pour avoir consacré leur précieux temps à la lecture et à la relecture de ce document. Nous leur disons merci pour toutes leurs remarques enrichissantes et leurs divers conseils à notre endroit.

Nous remercions sincèrement les Professeurs Adama DIAW de l'Université Gaston Berger de St Louis du Sénégal et Denis H. ACCLASSATO de l'Université d'Abomey-Calavi pour avoir accepté volontiers de participer à notre jury de soutenance malgré leurs agendas très chargés.

Particulièrement, nous remercions très sincèrement le Directeur de l'Ecole Doctorale Economie-Gestion de la FASEG/UAC, le Professeur Fulbert AMOUSSOUGA GERO, pour ses soutiens financier et matériel. En effet, la rédaction de cette thèse est sujette à une enquête de terrain dont le financement est en partie assuré par l'appui financier de cette Ecole Doctorale à notre endroit. De plus, nous avons bénéficié de tout le matériel nécessaire pour la préparation et la réalisation de notre enquête de terrain. Sans ces soutiens, cette thèse n'aurait pas connu une heureuse issue dans les meilleurs délais. Alors, nous présentons toute notre gratitude à l'Ecole Doctorale et à son Directeur.

Nous remercions notre épouse, Eunice J. A. M. DARE pour ses multiples soutiens et sa patience permanente tout au long de notre formation doctorale. Tous nos remerciements vont à tous nos parents, feu Missihoun AVOCE VIAGANNOU et Tohodé KOUNDE ; sans oublier nos frères et sœurs, pour toute leur assistance. Nous n'oublions pas le feu Sourou Pascal AGBOTON et la veuve Julienne VIAGANNOU AGBOTON, de même que la veuve Félicité K. AGBOTON BADAROU.

Nos remerciements vont aussi à tous nos collègues et amis, où qu'ils se trouvent, pour leurs collaborations, conseils, contributions et soutiens de tout genre tout au long de la rédaction de la thèse.

## Sigles et Acronymes

CAP	: Consentement A Payer
CEFORP	: Centre de Formation et de Recherche en matière de Population
CEFRED	: Centre d'Etudes, de Formation et de Recherche en Développement
CREMIDE	: Centre de Recherche en Microéconomie de Développement
CSPro	: Census and Survey Processing System
EIS	: Evaluation d'Impact Sanitaire
ERPURS	: Evaluation de Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé
GES	: Gaz à Effet de Serre
INSAE	: Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IRA	: Infections Respiratoires Aiguës
MEC	: Méthode d'Evaluation Contingente
MEHU	: Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MCO	: Moindres Carrés Ordinaires
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE	: Organisation de Coopération et de Développement Economique
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PA	: Pollution Atmosphérique ou Pollution de l'Air
PEV	: Perte d'Espérance de Vie
PIB	: Produit Intérieur Brut
PRQA	: Plan Régional de la Qualité de l'Air
PSAS	: Programme de Surveillance Air et Santé
QALY	: Quality-Adjusted Life-Year
STATA	: Statistical data Analysis
VAP	: Valeur d'Années Perdues
VAV	: Valeur d'une Année de Vie
VED	: Valeur d'Evitement d'un Décès
VOLY	: Value of Lost Years
VPF	: Valeur de Prévention d'une Fatalité
VSV	: Valeur Statistique de la Vie

## Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Principales sources de la PA et les polluants associés .....	31
Tableau 2.2 : Résultats du logit multinominal relatifs aux variables significatives .....	35
Tableau 2.3 : Résultats du test d’IIA de Hausman .....	36
Tableau 2.4 : Effets marginaux relatifs aux variables significatives .....	37
Tableau 2.5 : Quelques effets de la PA sur la santé humaine .....	38
Tableau 2.6 : Nombre de cas et de décès par affections respiratoires cardio-vasculaires de 2000 à 2009 dans la ville de Cotonou .....	40
Tableau 3.1 : Quelques travaux empiriques sur l’évaluation de la morbidité due à la PA .....	64
Tableau 3.2 : Répartition des chefs de ménage par zone et dans le Littoral .....	67
Tableau 3.3 : Composition de l’échantillon d’étude .....	67
Tableau 3.4 : Répartition des répondants selon le sexe .....	71
Tableau 3.5 : Les variables explicatives et effets attendus .....	72
Tableau 3.6 : Déterminants du CAP mensuel .....	77
Tableau 3.7 : Résumé des résultats des tests de Wald .....	78
Tableau 3.8 : Effets marginaux relatifs au Tobit censuré .....	80
Tableau 3.9 : Comparaison des moyennes pour les réponses à CAP>0/CAP=0 .....	81
Tableau 3.10 : Résultats comparés du Tobit censuré et du Tobit généralisé .....	83
Tableau 3.11 : Statistiques sur les variables de coûts de traitement .....	86
Tableau 3.12 : Coûts moyens et CMS .....	87
Tableau 4.1 : Estimations numériques de la VSV .....	93
Tableau 4.2 : Répartition des répondants âgés d’au moins 40 ans selon le sexe .....	98
Tableau 4.3 : Résultats d’estimation du modèle Tobit du type II .....	104
Tableau 4.4 : Résultats d’estimation du modèle Probit de participation au programme .....	106



## Liste des graphiques

Graphique 1.1 : Externalité rigoureuse, écart entre coût social et coût privé .....	15
Graphique 1.2 : Avantages dans le cas de déboisement d'un terrain .....	16
Graphique 1.3 : La taxe pigovienne .....	18
Graphique 1.4 : Internalisation au moyen de la taxe pigovienne .....	19
Graphique 1.5 : Internalisation au moyen d'une négociation bilatérale .....	22
Graphique 1.6 : Combinaison d'une taxe et d'une subvention .....	26
Graphique 2.1 : Répartition des émissions de gaz selon les sources à Cotonou en 1996 .....	31
Graphique 2.2 : Evolution du nombre de taxi-motos inscrits dans Cotonou de 2003 à 2009 .....	32
Graphique 2.3 : Répartition des répondants par maladie déclarée .....	41
Graphique 3.1 : Histogramme de fréquences des tranches de revenus .....	74
Graphique 3.2 : Diagramme à barres des raisons des CAP nuls .....	75
Graphique 4.1 : Répartition des individus d'au moins 40 ans selon les maladies déclarées .....	99
Graphique 4.2 : Répartition des individus d'au moins 40 ans selon les taux de mortalité .....	100

## Liste des schémas

Schéma N°1 : Les catégories d'externalités .....	8
Schéma N°2 : Différentes méthodes de mesure des coûts sanitaires .....	59

## Sommaire

Résumé .....	viii
Abstract .....	ix
Introduction générale .....	1
<b><u>PREMIÈRE PARTIE</u></b>	
<b>Pollution Atmosphérique : Cadres théorique, conceptuel et revue théorique</b>	
Chapitre 1 : Théorie des externalités .....	7
1.1 Externalités et problèmes de coûts .....	7
1.2 Internalisation des externalités .....	17
Chapitre 2 : Pollution de l'air : Cadre conceptuel et revue théorique .....	30
2.1 Cadre conceptuel de la pollution atmosphérique .....	30
2.2 Revue théorique sur les coûts sanitaires dus à la pollution de l'air .....	42
<b><u>DEUXIÈME PARTIE</u></b>	
<b>Coûts de morbidité et de mortalité dues à la pollution atmosphérique à Cotonou</b>	
Chapitre 3 : Coûts de morbidité due à la pollution atmosphérique à Cotonou .....	58
3.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de morbidité liée à la pollution de l'air .....	58
3.2 Evaluation des coûts de morbidité due à la pollution de l'air à Cotonou .....	66
Chapitre 4 : Coûts de mortalité liée à la pollution de l'air à Cotonou .....	89
4.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de mortalité .....	89
4.2 Mesure des coûts de mortalité liée à la pollution atmosphérique pour Cotonou .	95
Conclusion Générale .....	109
Références bibliographiques .....	113

## Résumé

La pollution atmosphérique est une externalité négative dont les coûts sanitaires sont importants. Une évaluation de ces coûts est faite dans la ville de Cotonou suivant deux approches. Dans un contexte de pollution atmosphérique, la première approche a consisté à évaluer les coûts de morbidité et la seconde s'est penchée sur une évaluation de coûts en termes de mortalité. Deux méthodologies sont appliquées dans les évaluations, à savoir la Méthode d'Evaluation Contingente (MEC) et la Méthode du Coût de la Maladie (MCM). D'abord, une analyse de la perception du niveau de gravité de la pollution de l'air par la population de Cotonou, est faite à l'aide d'un modèle Logit Multinomial (LM). Il ressort de l'analyse que contrairement aux autres modalités, le modèle LM explique globalement et significativement le choix des modalités « Modéré » et « Grave ». Ensuite, la MEC a permis d'évaluer le coût privé moyen par mois de la maladie pour un chef de ménage ; à partir des Consentements A Payer (CAP) des chefs de ménage pour une réduction de la pollution de moitié, ce qui réduirait leur souffrance de moitié. L'analyse de ces CAP à l'aide d'un modèle Tobit censuré avec prise en compte de l'endogénéité de la variable « revenu », comparée aux résultats d'un Tobit généralisé, a permis de dériver le CAP moyen qui représente le coût privé dont la valeur est de 1.200 FCFA/mois par adulte. En se basant sur les coûts de traitement déclarés par les répondants, une évaluation du coût médico-social (CMS) est faite. Le CMS moyen par ménage obtenu, s'élève à 26.544 FCFA par épisode morbide. Alors, le coût économique total de la maladie due à la pollution de l'air dans la ville de Cotonou pour un adulte, vaut en moyenne 27.744 FCFA par mois. Enfin, l'évaluation effective des coûts de mortalité due à la pollution de l'air dans la ville de Cotonou, est faite. Sur la base des CAP des adultes âgés d'au moins 40 ans dans le cadre d'une réduction de 5/1.000 ou 10/1.000, de la probabilité de décès sur un horizon de 10 ans, le coût moyen de mortalité est dérivé. Une vérification de la présence d'un biais de sélection est faite. Pour cela, la procédure en deux étapes de Heckman est utilisée. Aussi, est-il vérifié un éventuel problème de biais de simultanéité, en estimant le modèle « Heckit » (Tobit de type II) par maximum de vraisemblance. L'absence d'un biais de sélection ainsi que celui de simultanéité, ont conduit à une estimation par MCO, du modèle de CAP dans le cadre de la mortalité. Cette estimation est complétée par celle d'un modèle Probit de participation au programme de traitement médical proposé aux répondants. Il ressort de ces deux estimations que le CAP maximal moyen prédit s'élève à 5.832 FCFA par mois et par individu. Ce montant représente bien le coût moyen de mortalité relatif à une réduction d'au moins 5/10.000 l'an de la probabilité de décès, et sur une période de 10 ans. La Valeur Statistique de la Vie (VSV) est calculée pour les adultes de la ville de Cotonou et vaut 139.968.000 FCFA par an pour une réduction de 5/10.000 l'an du taux de mortalité, dans un contexte de la pollution de l'air

Au total, nous recommandons principalement : (i) l'élaboration d'un réel système du principe pollueur-payeur ; (ii) l'importation et le port des masques anti-pollution ; (iii) l'usage des pots catalytiques par les véhicules ; (iv) le renforcement des mécanismes de subvention dans le domaine sanitaire.

## Abstract

Air pollution is a negative externality; its health costs are substantial. An assessment of these costs is made following two different approaches in the city of Cotonou. The first approach is to assess the costs of morbidity and the second focuses on an assessment of the costs in terms of mortality. Two methodologies are applied in the evaluations, namely the Contingent Valuation Method (CVM) and the Method of Cost of Illness (MCI). First, an analysis of the perceived level of severity of air pollution by the population of Cotonou is made using a Multinomial Logit (ML) model. It appears from this analysis that unlike other methods, the ML model explains globally and significantly the choice of means significant levels of gravity are “Moderate” and “Severe”. Then, the CVM is used to evaluate the average monthly private cost of illness for a household through the willingness to pay (WTP) of the household heads to have pollution reducing by half. The analysis of CVM using a censored Tobit model by controlling for the income endogeneity, compared with Generalized Tobit model results, revealed that the private cost is 1,200 FCFA / month per adult. Based on treatment costs reported by respondents, an assessment of medical and social cost (MSC) is made. The average MSC per household obtained is 26,544 FCFA per episode of illness. So, the total economic cost of illness due to air pollution in the city of Cotonou for an adult is about 27,744 FCFA per month. Finally, evaluation of the costs of mortality due to air pollution in the city of Cotonou is done. Based on the willingness to pay (WTP) of adults with more than 40 years old through and assuming a reduction by 5/1000 or 10/1000, of the probability of death over a period of 10 years, the average cost of mortality is derived. To proceed, the selection bias is checked. Then the two-step procedure of Heckman is used. Further, a potential problem of simultaneous bias is tested by estimating the “Heckit” model (Tobit type II) by the maximum likelihood method. The absence of selection bias as well as simultaneous bias allow to estimate the model of the willingness to pay (WTP) in the context of mortality with an Ordinary Least Square (OLS). This model is completed with a probit model of medical treatment program participation. It follows from these estimates that the predicted average maximum WTP is 5,832 FCFA by month per individual. This amount represents the average cost of mortality related to a reduction of at least 5/10000 per year of the probability of death, over 10 years. The Value of Statistical Life (VSL) is calculated for adults in the city of Cotonou and is 139,968,000 FCFA per year for a reduction of 5 /10000 per year of the mortality rate in a context of air pollution.

In total, we mainly recommend: (i) the development of a real system of the polluter-payer principle; (ii) the importation and wearing anti-pollution masks; (iii) the use of catalytic converters by vehicles; (iv) the strengthening of subsidy in the health field.

## Introduction générale

De nos jours, la question de la protection de l'environnement se pose davantage. Cela est dû aux différentes actions de l'homme sur ce dernier. La plupart de ces actions causent des dommages à l'environnement. Les nuisances créées par l'homme à cet effet, évoluent avec ses activités économiques. Ces activités permettent la satisfaction des besoins de l'homme. Or les besoins des individus sont illimités, ce qui suppose que les actions sur l'environnement, sont aussi illimitées. Donc, les dommages causés à l'environnement sont énormes. Ces derniers peuvent être perçus à travers les différentes sortes de pollution, la destruction de la faune et de la flore etc. Cet état de chose met en relief certaines préoccupations en matière du développement durable (Amoussouga Gero, 2001).

La pollution est une préoccupation majeure pour la plupart des pays du monde. La question de la pollution se trouve au centre de la théorie des externalités, dont les fondements de base sont clairement posés par Pigou (1920) et reconnus par Laffont (1977). On note de multiples formes de cette pollution, telles que : la pollution atmosphérique, la pollution des eaux, la pollution sonore. En particulier, la pollution atmosphérique (ou pollution de l'air) semble occuper une place importante dans les débats à l'échelle mondiale. Kousnetzoff (2000) précise les différentes conférences organisées sur le plan international concernant le même sujet de la pollution de l'air. Ainsi, en partant du sommet de Rio en 1992, jusqu'à la conférence de la Haye en 2000 en passant par Kyoto en 1997, il ressort que l'objectif fondamental poursuivi est celui de la réduction des émissions de polluants, surtout ceux à effet de serre. Donc la question est bien préoccupante sur le plan mondial. Raffin (2009) montre même la relation entre la santé, la qualité de l'environnement et le développement économique. Le modèle à générations imbriquées utilisé par cet auteur, considère les effets de la qualité de l'environnement sur la santé des agents en plus des externalités habituelles de la pollution sur la qualité de l'environnement.

En réalité, lorsque l'on parle de la pollution atmosphérique, de quoi s'agit-il ?

Pour comprendre cela, Tattersfield (1996) a défini la pollution atmosphérique comme :

*« La contamination de l'air par une ou plusieurs substances soit produites à l'état naturel, soit résultant de l'activité humaine, contamination ayant pour conséquence que l'air devient moins acceptable pour le maintien de la santé ».* Cette définition est celle admise par Nejari et al. (2003). A travers cette définition, on comprend aisément que d'une part, la pollution atmosphérique met en exergue des substances (polluants) qui dégradent la qualité de l'air. D'autre part, elle fait ressortir la conséquence de cette pollution sur la santé. Pour Ngô et Regent (2012), le rythme et le volume des déchets et de la pollution mettent en péril les grands équilibres naturels, et il devient nécessaire de trouver les mécanismes de réduire le volume des pollutions et des déchets puis les rendre inoffensifs.

Mais comment se caractérise au fait la pollution de l'air dans la ville de Cotonou ?

La ville de Cotonou en tant que capitale économique du Bénin, concentre la plupart des activités économiques. A cet effet, la population qui y vit s'accroît et la quantité des ordures ménagères augmente. De plus, la satisfaction des besoins de déplacement de cette population avec le fait que chaque citoyen

cherche à avoir son propre moyen<sup>1</sup> de déplacement, engendre un trafic routier très dense. Ce trafic se compose des motos et voitures (personnelles et taxis), des bus, des camions etc. L'ensemble des ordures ménagères et le trafic routier, engendrent le rejet d'importantes quantités de gaz d'échappement ou issus de la décomposition des matières dans la ville (Avocè Viagannou, 2002). Les motos en circulation dans la ville sont souvent à « deux temps »<sup>2</sup> et les voitures sont souvent celles d'occasion, ce qui occasionne le rejet abondant des gaz. L'utilisation du gasoil comme carburant par les camions, contribue fortement au rejet des gaz. En général, les substances contenues dans ces gaz sont : le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), les oxydes d'azotes ( $\text{NO}_x$ ), les composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) etc. Ces polluants dégradent considérablement la qualité de l'air à Cotonou. Mais il est à noter que les trafics aérien, ferroviaire et maritime sont aussi des sources de la dégradation de la qualité de l'air. Le secteur industriel et la poussière de tout genre participent véritablement à cette dégradation. Nombreuses sont également les sources domestiques qui peuvent être regroupées en quatre grandes catégories à savoir : les dispositifs de combustion, les matériaux de construction et d'aménagement, les êtres vivants, les sols sur lesquels sont construits les bâtiments et les techniques de traitement de l'air. Une étude menée par la Banque Mondiale en 2002 sur la qualité de l'air à Cotonou, montre que les niveaux de concentration des polluants sont considérables<sup>3</sup>. Ainsi, cette étude en se basant sur certains polluants ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , COV, HC,  $\text{SO}_2$  et  $\text{PM}_{10}$ ), aboutit à des résultats qui prouvent que l'émission quotidienne est d'environ 83 tonnes de  $\text{CO}_2$  dont 59% émis par les véhicules à deux roues et 36 tonnes de  $\text{HC}_3$  pratiquement attribuées aux motos (Banque Mondiale, 2002). La pollution de l'air est reconnue comme forte à Cotonou par Fourn et Fayomi (2006). Pour ces auteurs la pollution est caractérisée par une concentration en CO qui varie de 26 à 38,6 ppm le matin et augmente l'après midi variant de 58 à 78,6 ppm ; le benzène quant à lui se situait autour de  $7,2 \mu\text{g} / \text{m}^3$  en moyenne.

Face à cette réalité dans laquelle la ville de Cotonou se trouve, les habitants de cette dernière, subissent des coûts sanitaires du fait de cette pollution. L'obtention d'un niveau zéro de pollution de l'air étant quasi impossible (Rabl, 1999), les populations sont exposées aux effets néfastes de la pollution de l'air. Fourn et Fayomi (2006) montrent effectivement que des symptômes tels que l'hyperhémie conjonctivale et les troubles respiratoires, sont causés par la pollution de l'air à Cotonou. Dans ces conditions de pollution atmosphérique, les victimes engagent des dépenses de santé, soit pour une prévention de maladies, soit pour un traitement. Cette situation engendre d'importants coûts à la population du point de vue santé. Certaines dépenses seraient engagées pour éviter des décès prématurés. Kappos et al. (2004), fait observer que des études de court terme sur la pollution de l'air, ont démontré que les associations entre les concentrations de particules de poussières (PM) et la santé humaine, sont très remarquables. En dehors des voies respiratoires, l'appareil cardio-vasculaire est menacé par les polluants. Pour ce faire, on assiste à une augmentation des pathologies cardio-vasculaires ou à l'aggravation de celles préexistantes. Aussi, peut-on observer d'autres symptômes hors voies respiratoires tels que les irritations oculaires, les céphalées, la fatigue etc. Puddu et al. (2003), ont démontré que l'asthme peut être favorisé par les polluants atmosphériques. Boldo et al. (2006), en évaluant les effets de long terme de la pollution de l'air dans 23 villes européennes, ont montré que si les niveaux d'exposition de long terme aux  $\text{PM}_{2,5}$  étaient réduits de  $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$  dans chaque ville, alors 16.926 décès prématurés pour toutes causes dont 11.612 décès pour cause cardio-pulmonaire et 1.901 décès pour cause de cancer de poumon, seraient prévenus annuellement. En Afrique, certains auteurs (Niang et al., 2007) ont montré qu'il y a une forte progression de l'incidence du cancer bronchique. En se basant sur le cas du Sénégal, ces auteurs trouvent que les individus les plus concernés sont des fumeurs de sexe masculin (88%). Cette source de pollution qu'est le tabagisme, constitue un véritable problème de santé humaine. Au Niger, une étude (Ozer, 2005) montre que les concentrations de poussières dans l'air sont importantes (une concentration annuelle moyenne de  $67 \mu\text{g} / \text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$ ) et posent un réel problème de santé publique. Mais, cette étude ne s'est limitée qu'à l'estimation de la pollution particulaire naturelle

1 Ce constat est un reflet de la culture béninoise.

2 La volonté politique des dirigeants a fait que certaines motos en circulation sont à « quatre temps », ce qui pollue moins par rapport à celles de « deux temps ». La plupart de ces motos sont utilisées comme des taxis appelés « zémidjans ».

3 La concentration de CO par exemple a atteint  $18 \text{ mg} / \text{Nm}^3$ . Le niveau de ce polluant hors de la ville était 10 fois moindre qu'aux principaux carrefours.

de l'air en 2003 à Niamey. Ainsi, lorsque la population est exposée sur un long terme aux polluants atmosphériques, les effets sanitaires sont bien importants. Souvent pour une exposition prolongée à la pollution atmosphérique, les affections qui apparaissent sont multifactorielles. Récemment, Just (2011) montre que dans les pays développés, lorsqu'on s'expose à la pollution de l'air pendant la jeunesse, on observe une augmentation des allergies et de l'incidence de l'asthme. Il n'en demeure pas moins vrai que les maladies chroniques et les cancers affectant l'appareil respiratoire, apparaissent souvent dans les zones à niveau élevé de pollution. Les effets de long terme sont plus difficiles à étudier compte tenu de la faiblesse de leur intensité. Ces divers travaux indiquent donc les potentiels coûts que subissent les populations se trouvant exposées aux polluants de l'air.

Au Bénin et en particulier à Cotonou, des travaux empiriques ne semblent pas être vraiment conduits afin de servir de base à des prises de décision adéquates dans le domaine. Autrement dit, des évaluations empiriques de coûts sanitaires de la pollution de l'air ne sont pas réellement faites malgré tous les débats qui se font au sujet de cette pollution à Cotonou. Or de telles évaluations aident à la compréhension des réels coûts subits par les populations, et contribuent sûrement à des prises de décision dans l'amélioration des conditions de vie de ces populations. Les évaluations analytiques de coûts sanitaires dans le cas de la pollution de l'air ne prennent souvent pas en compte toutes les composantes de ces coûts. Par conséquent, une approche analytique d'évaluation n'est pas envisagée ; et donc l'approche empirique semble la plus appropriée.

Une meilleure politique sanitaire prenant en compte cette situation serait la bienvenue. Mais il est opportun de parvenir à une évaluation empirique des différents coûts sanitaires possibles subits par la population de Cotonou, du fait de la pollution atmosphérique qui est d'actualité. Alors, eu égard à tout ce qui précède, la principale question qui se dégage pour cette thèse se présente comme suit :

***Quels sont les coûts sanitaires dus à la pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou ?***

En réalité, les maladies causées par la pollution de l'air seraient nombreuses à Cotonou. Elles peuvent être chroniques ou non. Le niveau des concentrations des polluants peut être déterminant pour les dommages sanitaires subits par la population. La durée d'exposition des populations contribuerait à l'accroissement du risque de décès prématuré. Ainsi, un certain nombre de questions spécifiques se dégagent à savoir :

- quel est le niveau de gravité de la pollution de l'air perçue par la population de Cotonou?
- quels sont les coûts de morbidité liée à la pollution atmosphérique telle qu'elle est dans la capitale économique du Bénin?
- quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité dans ladite ville ?

La réponse à ces préoccupations nous amène à entreprendre les recherches doctorales sur le thème : *Coûts sanitaires de la pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou au Bénin.*

En vue de bien conduire nos recherches, plusieurs objectifs sont poursuivis et des hypothèses émises.

Notre objectif général est *d'évaluer les coûts sanitaires de la pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou.* Pour atteindre cet objectif, les objectifs spécifiques suivants sont poursuivis :

- analyser la perception de la population face à la pollution de l'air ;



- évaluer les coûts de morbidité engendrés par la pollution de l'air dans la ville de Cotonou ;
- évaluer l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité dans cette capitale du Bénin.

Pour atteindre ces objectifs les hypothèses suivantes sont formulées :

**H1** : La profession de l'individu explique significativement sa perception du niveau de gravité de la pollution de l'air ;

**H2** : Le revenu de l'individu influence significativement le coût privé de morbidité due à cette pollution ;

**H3** : La probabilité de décès liée à la pollution de l'air impacte les coûts de mortalité.

La pollution atmosphérique provient de plusieurs sources dans la ville. Ces sources ne pourront pas être éliminées facilement. Cela suppose que le niveau de la pollution de l'air ne peut pas être zéro. Les dommages possibles liés à la présence de la pollution de l'air dans ladite ville connaîtront probablement un accroissement. Les effets de la pollution de l'air sur la santé humaine ou animale sont importants. Les cas de morbidité liée à cette pollution constituent une préoccupation pour les autorités. Les populations exposées à la pollution de l'air sont obligées d'engager des dépenses afin d'améliorer leur santé. Ces dépenses constituent des coûts qui ne sont pas négligeables ; et il en est de même que la souffrance qu'endure la population dans son état de morbidité.

Les évaluations des différents coûts liés à l'exposition de la population aux divers polluants atmosphériques, constituent une façon d'appréhender les énormes risques auxquels cette dernière se trouve confrontée. Ces évaluations aideront à des propositions de politiques appropriées prenant en compte la santé des populations. Donc la présente thèse est réellement d'un intérêt certain pour aider à la prise de décision sur les plans économique et politique.

Il est attendu de cette thèse un certain nombre de résultats. D'abord, l'analyse de la perception de la population est faite. Ainsi, les variables déterminantes de cette perception sont identifiées, puis les maladies causées à la population sont appréhendées. Ensuite, les coûts de morbidité sont évalués, particulièrement le coût privé est dérivé. Egalement, une estimation du coût social est faite. Enfin, une évaluation de l'impact de la pollution de l'air sur la mortalité est faite.

L'intérêt de cette recherche sur le plan social est d'une importance capitale. Alors, les populations pourront prendre davantage conscience des effets de la pollution de l'air sur la santé et en tenir compte dans leurs comportements. Ainsi, les populations pourront consommer des biens permettant d'atténuer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé (par exemple les masques anti-pollution, les pots catalytiques etc.). Consciente de l'intoxication de l'organisme causée par les polluants divers, la population qui se trouve exposée doit se désintoxiquer fréquemment par la consommation des produits adéquats. Aussi, doit-elle bénéficier d'éventuelles subventions dans le domaine sanitaire suivant une politique appropriée.

Globalement, la présente thèse est structurée en deux grandes parties. La première partie présente les cadres théorique et conceptuel ainsi qu'une revue théorique, relatifs à la pollution atmosphérique. La deuxième partie aborde l'évaluation des coûts de morbidité de même que ceux de mortalité, dans un contexte de la pollution de l'air dans la ville de Cotonou au Bénin.

La première partie de la thèse, qui présente les cadres théorique et méthodologique relatifs aux effets de la pollution de l'air, comporte deux chapitres. Le chapitre 1 aborde le cadre théorique global de la

pollution de l'air, qu'est la théorie des externalités. Ce chapitre présente donc l'essentiel sur la théorie des effets externes tout en spécifiant l'évolution de cette théorie dans le temps. Les problèmes économiques qui se posent dans une situation d'externalité ainsi que les solutions proposées pour leur résolution, sont précisés dans ce premier chapitre de la thèse. Ceci permet de situer la pollution atmosphérique dans son cadre théorique global d'analyse économique. Une fois la théorie des externalités revue, le chapitre 2 met l'accent sur le concept même de la pollution de l'air, de même que la revue théorique sur les coûts des effets de cette dernière. Ainsi, les caractéristiques et les conséquences de la pollution atmosphérique sont présentées tout en faisant ressortir des tendances au niveau de la ville de Cotonou, qui donnent une idée de l'ampleur du phénomène. La perception de la pollution par la population est analysée et les diverses maladies déclarées par cette dernière sont examinées. Enfin, ce chapitre fait une revue de littérature sur les modèles théoriques qui ont abordé les effets de la pollution de l'air, et plus précisément les coûts sanitaires qu'elle engendre.

La deuxième partie de la présente thèse, aborde les évaluations de coûts des effets de la pollution de l'air à Cotonou. Cette partie comprend aussi deux chapitres : les chapitres 3 et 4. Dans le chapitre 3, les méthodes appropriées dans les évaluations de coûts sanitaires sont revues ; il en est de même pour des études empiriques antérieures dans le même domaine. Le développement fait dans ce chapitre, aide à clarifier les différentes méthodes qui peuvent être appliquées dans le cadre de cette thèse. Dans ce chapitre 3, l'évaluation se base sur la morbidité due à la pollution de l'air. Compte tenu de l'exposition continue des populations à la pollution de l'air, beaucoup de cas de maladies s'observent. Dans ce cadre, et en ce qui concerne les populations de Cotonou, les coûts de morbidité liée à cette exposition sont estimés à ce niveau. Tous les aspects d'évaluation dans un contexte pareil, sont pris en considération. Le chapitre 4 aborde les évaluations relatives à la mortalité due à la pollution de l'air. Pour ce faire, ce chapitre donne dans un premier temps, un détail sur les démarches méthodologiques suivies par des travaux antérieurs ainsi que les résultats empiriques de ceux-ci. Dans un second temps, il est prévu d'estimer ce que coûte la mortalité due à la pollution de l'air dans la ville de Cotonou. Cette estimation peut être faite en termes de coûts de réduction du risque de décès ou de probabilité de décès, ou encore en termes d'augmentation de l'espérance de vie. Ainsi, la perte engendrée par une éventuelle mort prématurée d'un adulte à Cotonou, du fait de la pollution de l'air, est estimée. Cette estimation est faite par l'approche de la « valeur statistique de la vie » d'un adulte résident à Cotonou.

# PREMIÈRE PARTIE

## Pollution atmosphérique : Cadres théorique, conceptuel et revue théorique

La pollution de l'air est un phénomène important dans beaucoup de processus de consommation et de production. Pour l'aborder, il faut en comprendre les caractéristiques et les conséquences. La compréhension du concept en lui-même est nécessaire afin de le positionner dans un cadre économique général d'analyse. La théorie des externalités constitue le cadre théorique approprié dans lequel la pollution atmosphérique trouve son champ d'analyse économique. Ainsi, cette théorie aidera à une bonne compréhension du concept de pollution de l'air ; et les divers travaux relatifs à ce dernier permettent d'appréhender la façon dont le phénomène est analysé.

# Chapitre 1

## Théorie des externalités

### Introduction

Dans le processus de production de la richesse dans une économie, plusieurs activités sont menées. Ces activités vont de l'extraction ou de l'agriculture, aux ventes sur différents marchés de produits, en passant par la transformation et la logistique. Certains agents économiques qui mènent ces activités, agissent consciemment ou inconsciemment sur d'autres ou réciproquement. Cet état de chose est caractérisé en économie par *effets externes* ou tout simplement *externalités*. Ce concept économique d'externalités continue de faire l'objet de beaucoup d'analyses en sciences économiques. Les externalités peuvent être positives lorsque l'action d'un agent sur l'autre est faite sans dommages et est bénéfique pour ce dernier. Elles sont considérées comme négatives dans une situation où un dommage est créé par une partie sur une autre. Ainsi, le présent chapitre aborde la question des externalités, qui constitue le cadre théorique de base de cette thèse. Dans ce premier chapitre, la première section présente les externalités en général et les différents problèmes qu'elles engendrent. La seconde section est relative à l'internalisation des externalités de pollution.

### 1.1 Externalités et problèmes de coûts

Dans cette section, nous avons abordé le concept d'externalité dans l'optique de le situer d'une part dans le temps, et d'autre part en faisant ressortir les différentes formes ou catégories d'effets externes. Aussi, avons-nous fait ressortir les coûts et les avantages liés aux externalités.

#### 1.1.1 La notion d'externalité

Le concept d'économie externe évoqué par Marshall (1920), représente la source historique de la théorie considérée. Le problème de Marshall était d'expliquer la décroissance d'une courbe de prix d'offre de long terme dans une industrie, tout en maintenant l'hypothèse de coût marginal croissant pour l'entreprise (Berta, 2008). Mais il faut noter que selon Géniaux (1999), le premier qui a évoqué la notion d'effet externe est Sidgwick (1887) dans son ouvrage sur l'économie politique. Malgré cela, Pigou reste le premier à mettre en évidence cette notion, dans un cadre d'analyse statique d'équilibre partiel. Comme le précise Laffont (1977), les fondements théoriques des externalités sont posés avec Pigou (1920). Et pour ce dernier, la notion d'effet externe est perçue dans un cadre d'analyse statique d'équilibre partiel de deux façons: *l'action, non monétairement compensée et sans accord préalable, d'un agent économique sur d'autres agents et/ou divergence entre coûts privés et coûts sociaux*. Selon Faucheux et Noël (1995), la définition de l'effet externe, donnée par Pigou apparaît plus claire que celle de Marshall, chez qui les effets externes sont décrits en faisant allusion à l'environnement externe de la firme. La définition de Pigou met l'accent sur le caractère hors marché de l'effet :

« L'essence du phénomène est qu'une personne A en même temps qu'elle fournit à une autre personne B un service déterminé pour lequel elle reçoit un paiement, procure par la même occasion des avantages ou des inconvénients d'une nature telle qu'un paiement ne puisse être imposé à ceux qui en bénéficient ni une compensation prélevée au profit de ceux qui en souffrent » (Pigou, 1920).

De cette définition, il ressort que les effets sont soit positifs, soit négatifs. Dans le premier cas, on parle « d'économie externe » et de « déséconomie externe » dans l'autre cas. Par exemple dans le domaine des télécommunications au Bénin, Chabossou (2007) a montré l'existence des externalités négatives de réseau, suite à l'entrée d'un nouveau adhérent au réseau téléphonique ; il s'agit notamment de l'effet d'encombrement qui apparaît au moment où la demande excède les capacités installées. Pour Abdelmalki et Mundler (2010), la pollution est l'exemple type d'effet externe négatif qui entraîne des coûts pour les victimes sans qu'il n'y ait une intégration spontanée de ces derniers dans le coût global des pollueurs.

En général, pour les deux situations d'effets, on peut se trouver en face d'externalité de consommation ou d'externalité de production. Ainsi, selon Varian (2000), une situation économique implique une externalité de consommation lorsqu'un consommateur se préoccupe directement de la production ou de la consommation d'un autre agent (par exemple la pollution des motos ou la douce musique d'un voisin). De même l'externalité de production s'observe lorsque les possibilités de production d'une entreprise sont influencées par les choix d'une autre entreprise ou d'un consommateur (cas d'un verger de fruits à côté d'un apiculteur).

Quelle brève catégorisation peut-on faire pour les externalités ?

### 1.1.1.1 Une catégorisation des externalités

Pour Bialès et al (1999), on distingue deux grandes catégories d'externalités : les externalités selon les agents concernés par l'interdépendance, et les externalités selon la raison de l'interdépendance. Le schéma N°1 inspiré de Bialès et al. (1999), résume ces catégories d'effets.

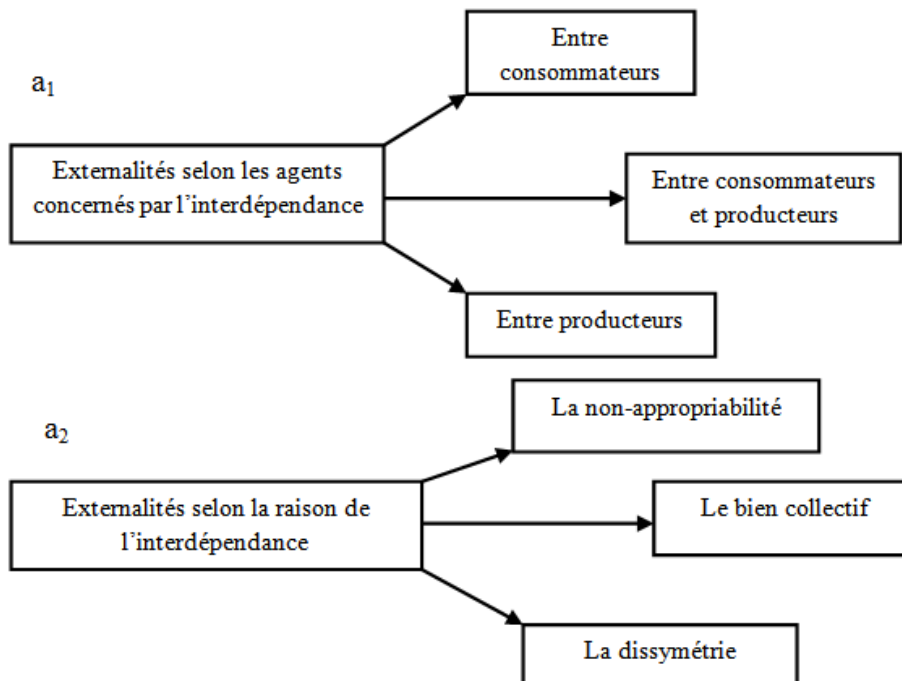


Schéma N°1 : Les catégories d'externalités

- D'après le schéma N°1, en  $a_1$ , on distingue les externalités entre consommateurs, celles entre producteurs, puis celles entre producteurs et consommateurs. Dans le premier cas, on met en interdépendance des consommateurs ; certains créant des indispositions aux autres (par exemple les fumeurs et les non fumeurs de cigarette). Le deuxième cas d'externalité s'observe au niveau des firmes, où la production de certaines entreprises influence celle des autres (par exemple la pollution engendrée par une entreprise en amène une autre à la dépollution dans son processus de production). Dans le dernier cas, on remarque souvent les situations de pollution des entreprises sur les populations environnantes.
- En  $a_2$ , les externalités dues à la non-appropriabilité s'inscrivent dans le cadre des avantages réciproques que se procurent un verger et un apiculteur. En ce qui concerne l'externalité due à la dissymétrie d'information entre l'émetteur d'effet externe et son destinataire, on peut faire référence à la situation de pollution sonore des camions des transporteurs routiers. Pour ce qui est de l'externalité liée au bien collectif, on retrouve les services publics que l'Etat offre à la société.

Dans le débat sur les externalités, plusieurs distinctions spécifiques sont faites. Dans un premier temps nous présentons la distinction entre externalité pécuniaire et externalité technologique.

### 1.1.1.2 L'externalité pécuniaire et externalité technologique

Avec Viner (1931), une distinction est faite entre économie externe pécuniaire et économie externe technologique. L'économie externe technologique renvoie au sens contemporain, c'est-à-dire un effet externe de l'activité d'une entreprise sur une autre sans aucun arbitrage par les prix. Les économies externes pécuniaires se rapportent par contre à des effets transmis par les prix : la variation de la quantité d'output produite implique une variation des prix des inputs nécessaires à sa production. Contrairement à l'externalité technologique qui modifie la fonction de production des agents subissant cette externalité, les externalités pécuniaires présentent des effets qui peuvent être annulés par transfert monétaire entre agents concernés, sans aucune modification des variables économiques. La pollution est alors classée comme une externalité technologique et les analyses de Pigou (1920) sur les conséquences des externalités, ne sauraient s'appliquer aux externalités pécuniaires (Géniaux, 1999).

Meade (1952) distingue au niveau des externalités technologiques, celles qui participent à la *création d'atmosphère* de celles qualifiées de *facteurs impayés*. Mais la distinction de Meade facilite la séparation des effets externes sources de rendements décroissants ou croissants appelés *création d'atmosphère*, et les effets externes qui se distinguent des autres, appelés *facteurs impayés*. Ces derniers ne dépendent pas du nombre et de la taille des industries existantes. Ainsi, pour l'auteur, les firmes émettrices ou réceptrices d'externalités, sont caractérisées par des outputs qui sont fonction de leurs propres facteurs de production, mais également des outputs et des facteurs d'autres firmes. L'exemple du verger et de l'apiculteur illustre les *facteurs impayés*. Le producteur de fruits favorise la production du miel d'un voisin apiculteur, grâce au nectar qu'il produit de façon indirecte. En retour, l'activité de butinage des abeilles de l'apiculteur favorise la production de fruits (pommes). Dans ce cas, on constate qu'il s'agit d'une double externalité de production. Cet état de chose produit individuellement des rendements décroissants, mais collectivement constants. Les abeilles et le nectar constituent des facteurs de production cachés et impayés. Les fonctions de production considérées sont interdépendantes, la production de l'un des producteurs est prise pour input de celle de l'autre. On peut formaliser cela de la façon suivante :

$$Y_1 = F_1(C_1, L_1, Y_2) \quad (1)$$

$$Y_2 = F_2(C_2, L_2, Y_1) \quad (2)$$

C et L représentent les facteurs de production « capital et travail ». Cette formalisation n'est pas stricte, car ce ne sont pas directement les outputs 'fruit et abeilles' qui entrent dans la production comme inputs, mais plutôt le nectar et l'activité de fertilisation des abeilles.

*Les atmosphères* quant à elles, peuvent être illustrées par l'activité de reforestation d'une industrie de bois. Cette reforestation agit sur la pluviosité environnante et contribue à l'amélioration de la production d'un voisin céréalier. La pluie est alors considérée comme une *atmosphère*, conséquence involontaire de la production du bois créant ainsi une externalité positive (Berta, 2008). Dans ce cas les rendements sont individuellement constants car si le céréalier double ses inputs, sa production double quelque soit l'état de la nature (s'il y a pluie ou non) ; mais ces rendements seront croissants collectivement du fait que le reboisement crée un regain de pluie ce qui augmentera la production du céréalier plus que proportionnellement à ses inputs. Pour Berta (2008), cette distinction faite au niveau des rendements pour comparer ces deux notions évoquées par Meade, semble ad hoc. Mais pour éclaircir la distinction entre ces notions, la raison évoquée par Meade (1952) et reprise par Berta (2008) est la suivante : « *l'atmosphère est une condition fixe de production qui reste inchangée pour tous les producteurs (... ) quelque soit l'échelle de production* » alors que « *le facteur de production est une aide à la production en quantité fixée et disponible en quantités moindres pour chaque producteur lorsque le nombre de producteur croît* » (Meade, 1952). Pour cette raison, Berta fait ressortir le caractère de bien collectif de l'atmosphère et celui de bien privé pour le nectar (bien privé impayé). Cet auteur reconnaît aussi la difficulté qu'il y a de parler d'un bien collectif dans une situation où il n'y a qu'un seul bénéficiaire ; mais il ajoute qu'il s'agit dans tous les deux cas d'une *externalité bilatérale*. Ainsi, il trouve une justification au fait que Meade parle de caractère fixe et inchangé de *l'atmosphère*.

Les conditions dans lesquelles se présentent les externalités, ont aussi retenu l'attention de certains auteurs, dans le débat sur ces effets externes. Ainsi, le contexte économique dans lequel les effets sont perçus, donne une appréhension sur la notion.

### 1.1.1.3 Les externalités selon le contexte économique

Dans la théorie des externalités, Scitovsky (1954) montre que le concept d'externalité dépend du contexte économique considéré. Pour lui, deux contextes doivent retenir une attention particulière dans cette analyse: il s'agit de l'industrialisation des pays en développement et de la théorie de l'équilibre. Ainsi, avec la théorie de l'équilibre, l'auteur distingue quatre types d'interactions hors marché, entre agents, capables de nuire à l'allocation optimale au sens de Pareto. La distinction porte sur : la satisfaction d'un individu, qui dépend –de celle des autres agents et –des activités de production (bruit par exemple) ; puis la production d'une firme, qui dépend – des autres firmes (innovation) et –des productions des autres firmes (externalité technologique selon Meade). Pour Scitovsky (1954), la première forme d'interaction est la plus importante. Géniaux (1999), précise que ce jugement qualitatif de l'auteur s'est révélé erroné en ce qui concerne la deuxième forme d'interaction qui prend en compte la pollution des producteurs vers les consommateurs. Alors, l'externalité passe d'une logique dominante « producteur à producteur » à une logique dominante « producteur à consommateur et/ou consommateur à consommateur » ; logique avec laquelle l'externalité connaît une formalisation à travers ses effets sur des fonctions d'utilité plutôt qu'entre fonctions de production. En ce qui concerne l'industrialisation des pays en développement, quand les conditions statiques de concurrence pure et parfaite d'un modèle d'équilibre général ne sont pas vérifiées, les externalités pécuniaires peuvent avoir un important effet sur l'allocation optimale (Scitovsky, 1954).

Dans le débat sur le concept d'externalité, la faillite du marché constitue également un volet explicatif de la situation.

#### 1.1.1.4 L'externalité comme faillite du marché

Pour Bator (1958), l'externalité peut être vue comme une faillite du marché. Selon lui, l'élargissement de la notion revient à définir l'externalité comme « *toutes situations où certains bénéficiaires et coûts partiels restent externes au calcul coût-bénéfice décentralisé en termes de prix* ». Plusieurs sources peuvent être identifiées pour cette catégorie d'externalité. On distingue à cet effet des externalités *destructibles* par l'usage de celles qui ne le sont pas. On note de ce fait l'aspect public ou privé des externalités. Dans les situations de pollution, les externalités présentent pratiquement les mêmes caractéristiques que les biens publics (Bator, 1958). Ainsi, les pollutions de l'air, de l'eau et la pollution sonore, sont des externalités qui représentent des biens publics pratiquement purs du fait qu'elles sont « consommées » par tous, sans rivalité, ni exclusion. Ces externalités sont alors *non-destructibles* par l'usage ; mais il existe des externalités privées ou destructibles par usage. Géniaux (1999) précise que la distinction entre *externalité privée* et *externalité publique* de Bator a fait son apparition dans la littérature près de quarante ans après les travaux de Pigou. Cet état de chose est dû au fait que pendant longtemps, le traitement des externalités de pollution souffrait de l'absence d'un concept et d'une théorie des biens publics afin de permettre d'approfondir l'élaboration de la politique de régulation de la pollution, après l'apport de Pigou en la matière (Géniaux, 1999).

Une autre distinction est faite sur la notion d'effets externes, en se basant sur les préférences des agents à l'aide de la fonction de satisfaction de ces derniers.

#### 1.1.1.5 Les externalités pertinentes et externalités non pertinentes

Buchanan et Strubblebine (1962) ont tenté de donner une définition formelle et pratique de la notion d'externalité, en caractérisant les préférences des agents à travers la fonction d'utilité dont les arguments sont des variables contrôlées par l'agent et des variables qui échappent à son contrôle. Géniaux (1999) précise que les effets de ces variables sur la fonction d'utilité reflètent l'externalité subie par l'agent. Comme le souligne Papandreou (1994), la difficulté qu'il y a à définir clairement les activités sur lesquelles l'agent a un contrôle donné, fait qu'une distinction est faite entre *externalités potentiellement pertinentes* et *externalités non potentiellement pertinentes* (Buchanan et Strubblebine, 1962). Une situation dans laquelle le récepteur de l'externalité n'a aucun intérêt de modifier le comportement de l'émetteur, constitue une *externalité non potentiellement pertinente*. Ces auteurs appuient la distinction entre les *externalités Pareto pertinentes* et les *externalités non Pareto pertinentes*. Les premières s'observent dans un équilibre compétitif où les conditions d'allocation des ressources sont violées. L'externalité est dite *non Pareto pertinente* lorsque des changements permettant de réduire une externalité négative, n'impliquent pas une réduction de bien-être de l'émetteur. Dans ce cas, aucune négociation directe n'est mise en place. Mais lorsque les négociations se mettent en place, les *externalités Pareto pertinentes* persistent une fois ces dernières closes et méritent d'être corrigées. De cette analyse, il ressort clairement l'un des résultats de Buchanan et Strubblebine (1962) à savoir qu'une *taxe sur une externalité non Pareto pertinente, précisément lorsque des négociations ont lieu, débouche sur une inefficacité*.

Aussi, fait-on une distinction entre l'externalité absolue et l'externalité relative.

#### 1.1.1.6 L'externalité absolue et externalité relative

Dans son analyse sur les externalités, Arrow (1969) a pratiquement des préoccupations semblables à celles de Bator (1958). Pour cet auteur, il n'y a pas de définition clairement établie du concept d'externalité dans la littérature. Arrow (1969) considère à cet effet que *la défaillance de marché est une catégorie plus générale que l'externalité et qu'il y a une différence entre les deux notions et les rendements croissants, du fait que les défaillances et les externalités sont liées au mode d'organisation économique alors que les rendements constituent un phénomène fondamentalement technologique*. Ces considérations amènent Berta (2008) à faire des remarques données : - il notifie d'abord que les biens collectifs sont considérés



comme une sous catégorie d'externalité et les externalités constituent à leur tour une sous catégorie de défaillances. Ensuite, il précise que les rendements croissants ne sont ni des externalités, ni même des défaillances de marché. Il ajoute que la distinction faite entre défaillance et rendement n'est pas formelle. Alors que les problèmes de rendement sont technologiques, ceux d'externalité sont institutionnels. Le fait que la défaillance et l'externalité ne peuvent se penser hors cadre institutionnel, amène Arrow (1969) à considérer que l'externalité n'est jamais absolue mais relative aux institutions sur place.

En réalité il n'y a pas une définition précise de la notion de défaillance, établie par Arrow. Pour lui, les défaillances sont assimilées aux marchés manquants, et donc aux externalités. Et toute défaillance ou marché manquant renvoie à tout ce qui invalide le premier théorème du bien-être. Mais, « externalités » et « marchés manquants » ne sont pas véritablement synonymes. Les marchés manquants prennent en compte d'autres phénomènes tels que l'absence de marchés futurs ou de marchés de couverture de risque. Ceci justifie selon Berta (2008), le fait que « *l'externalité est le cas particulier d'un phénomène plus général, l'échec des marchés à exister. Toutes les défaillances ne peuvent intelligemment être décrites comme des externalités* » (Arrow, 1969). Autrement dit: (i) les externalités sont des cas particuliers des marchés manquants, à côté des marchés futurs (ii) les marchés manquants sont synonymes des défaillances de marchés, dans un cadre de concurrence parfaite et (iii) les défaillances sont une cause parmi tant d'autres, à l'instar des problèmes de non convexité des préférences et des ensembles de production (qui constituent des entorses aux théorèmes du Bien-être)<sup>4</sup>.

D'après Géniaux (1999), un recensement a été fait par Arrow (1969) sur les principales causes de l'inexistence des marchés qui est assimilée à une externalité. Ces causes sont relatives aux interactions où l'on a l'impossibilité de mettre en application le principe d'exclusion et un manque d'informations nécessaires sur la mise en place de transactions de marché. Selon Berta (2008), la première cause réside dans le petit nombre d'agents, rendant l'hypothèse de *price taking* problématique. La deuxième cause renvoie aux difficultés d'exclusion, et elle pourrait s'avérer impossible d'un point de vue technique ou trop coûteuse. Dans une situation probable d'exclusion mais trop coûteuse, l'externalité devient relative et non plus absolue. Autrement dit, l'absence de marché trouve son explication dans l'importance des coûts de son institution et n'est plus considérée comme une inefficacité. Alors, la défaillance de marché, en introduisant la notion de coûts de transaction, devient relative. D'ailleurs Papandreou (1994), précise qu'il y a une incompatibilité entre externalité absolue et externalité relative, du fait qu'elles relèvent des considérations théoriques différentes.

Aussi, Arrow (1969) part-il d'une définition qui s'inscrit fondamentalement dans la théorie de l'équilibre général, où les marchés manquants ou encore les externalités, sont des défaillances qui conduisent à l'invalidation du premier théorème du bien-être. En mettant en exergue les principales causes de ces marchés manquants, et précisément les phénomènes de non exclusion, l'auteur introduit la notion de coût de transaction. Cet état de chose fait ébranler la définition ordinaire de la défaillance due à la sous optimalité parétienne (Berta, 2008). Par conséquent, les marchés manquants ne sont plus le reflet d'une inefficacité.

A travers différentes définitions de l'externalité, les caractéristiques fondamentales de cette notion, semblent ne pas être clairement mises en lumière. Quelles sont ces caractéristiques ?

4 Pour Arrow (1969) les principales entorses aux théorèmes du Bien être sont : la non convexité des préférences et des ensembles de production, puis l'absence d'universalité des marchés. Ainsi, sous les hypothèses de concurrence parfaite-unicité de prix et *price taking*-, l'équilibre concurrentiel n'est plus Pareto optimal, si a) l'hypothèse de convexité est non valide du fait de l'absence de garantie de l'existence de l'équilibre, si b) la présence de « marchés universels » est invalide, l'équilibre existe sans être Pareto optimal.

### 1.1.1.7- L'effet involontaire et incontrôlable de l'externalité

Selon Berta (2008), la plupart des définitions de l'externalité ne font pas ressortir les deux caractéristiques symétriques, que possède cette notion. Il s'agit d'un effet involontaire pour celui qui produit l'externalité et cet effet est incontrôlable par celui qui subit la nuisance. Le caractère involontaire ou non intentionnel de l'externalité est beaucoup plus ambigu du fait de multiples interprétations dans ses définitions (Berta, 2008).

#### — *Le caractère non intentionnel de l'externalité*

Berta (2008), en rappelant que Meade n'a pas explicitement affirmé la dimension involontaire de l'externalité quand il parlait des situations dans lesquelles un entrepreneur « ne prend pas en compte » l'effet de ses activités sur un autre ; précise que le premier ayant mis en avant cette caractéristique de l'externalité et la considérant comme primordiale, est Mishan (1969 ; 1971). Comme l'a notifié Berta, Mishan (1971) précise que : « *ce que la notion seule ne permet pas de souligner, c'est que la caractéristique essentielle du concept d'externalité est que l'effet produit n'est pas une création délibérée mais la production jointe non intentionnelle ou accidentelle d'une activité légitime* ». Il ajoute que par exemple en empoisonnant progressivement sa belle-mère ou en mettant de l'acide hydraulique dans les eaux pures du courant utilisé par une distillerie de whisky ; on affecte forcément la fonction de consommation de la belle-mère et celle de production de whisky. Mais aucune de ces situations ne s'accorde avec la notion d'effet externe reconnue par tous. De même que Mishan (1971), d'autres auteurs ont précisé que souvent les externalités émergent lorsque la valeur d'une fonction « objectif », comme le produit d'une entreprise ou la satisfaction d'un individu, dépend des productions jointes, non intentionnelles ou accidentelles, de l'activité des autres (Heller et Starrett, 1976). L'aspect formaliste sur lequel s'est basé Mishan pour faire ressortir le caractère non intentionnel des externalités, facilite certaines interprétations.

En ce qui concerne les externalités de consommation, Berta (2008) précise effectivement que l'une des variables de choix dans le programme d'optimisation du consommateur est à la base du niveau d'externalité, sans que ce dernier n'ait choisi délibérément d'affecter positivement ou négativement un autre agent. Pour l'auteur, si la production d'une externalité était réellement un acte délibéré de bienveillance ou de malveillance, elle devrait se traduire par la présence de l'utilité des individus affectés dans les préférences de celui qui produit l'externalité. Dans ces conditions il y a une interdépendance d'utilité. Mais cette interdépendance n'est pas considérée par Mishan comme une externalité, notifie Berta dans son analyse.

S'agissant des externalités de production, selon Berta (2008), l'ambiguïté réside dans le fait que le niveau de l'externalité peut avoir des statuts dans le formalisme de base. Mishan (1971) stipule que l'externalité intervient comme une production jointe non intentionnelle. Ou alors, l'externalité est assimilée directement à l'output du producteur et dans ce cas, son niveau est délibérément choisi par le producteur, autrement dit il fait partie formellement des variables de choix pour son programme d'optimisation. Berta fait ressortir ce cas chez Meade, où le formalisme choisi fait intervenir l'output d'un producteur directement comme input d'un autre. L'auteur précise que même dans ce dernier cas, l'effet externe n'a jamais fait l'objet de recherche, mais n'est que la conséquence de la maximisation du profit.

Insister sur cette dimension involontaire de l'externalité, s'inscrit dans une approche phénoménologique ou essentialiste du concept (Berta, 2008). Pour ce dernier, on peut imaginer que Baumol et Oates (1971) se situent dans la même perspective que Mishan, perspective selon laquelle « *le concept d'externalité est loin d'être sans ambiguïté à cause de mauvaises applications, (...) ou d'extensions arbitraires de son sens original* ». Ces auteurs raisonnent d'ailleurs dans un contexte théorique bien défini où leurs analyses cherchent à associer étroitement l'externalité à une catégorie particulière de phénomène telle que la pollution dont les problèmes sont certainement involontaires. Leur idée rejoint celle de Papandreaou (1994) selon laquelle « l'externalité est un phénomène distinct, tangible ».

— *Le caractère incontrôlable de l'externalité*

Malgré que l'externalité intervienne comme argument de la fonction de production ou d'utilité de l'agent qu'elle affecte, elle n'en constitue pas une variable de contrôle selon Berta (2008). En considérant les différentes conceptions des externalités, cet auteur précise que l'absence de contrôle de l'externalité par celui qu'elle affecte est le point de définition le plus consensuel. Ainsi, Laffont (1987) faisait remarquer que si l'effet est produit par un autre sans passer par un système de prix, il est évidemment hors contrôle. Comme le rappelle Berta, ce caractère incontrôlable de l'externalité a été abordé pour la première fois par Buchanan et Stubblebine (1962), qui dans leur définition montrent que les externalités sont des arguments dans la fonction d'un agent « qui par définition échappent donc à son contrôle ». En considérant les problèmes de pollution, même dans une situation de taxation de cette dernière, ils sont toujours subis par les victimes.

Dans ce contexte, pour Baumol et Oates (1975), l'externalité est considérée comme un *phénomène réel* et est appréhendée sous deux conditions à savoir:

- « une externalité est présente quand les relations d'utilité ou de production d'un individu A incluent des variables réelles, dont les valeurs sont choisies par d'autres sans attentions particulières à leurs effets sur le bien-être de A » ;
- « le décideur dont les activités affectent les niveaux d'utilité ou les fonctions de production des autres agents, ne paye ni ne reçoit, en compensation de ses activités, un montant équivalent aux bénéfices ou coûts marginaux qu'elles induisent sur les autres ».

Par rapport à cette définition, les critiques formulées par Papandreou (1994), l'amènent à évoquer certaines externalités pour lesquelles « les actions influencent des variables sans qu'aucun choix conscient sur ces variables spécifiques ne soit fait ». Berta (2008) trouve qu'effectivement une pollution involontaire peut être inconsciente, même si son niveau est choisi par le pollueur. Pour lui, il est probable de choisir de façon consciente un niveau d'externalité sans pour autant prêter une attention particulière à ses effets sur autrui. La musique qu'un individu choisit d'écouter la nuit, sans se rendre compte de la nuisance qu'elle engendre chez des voisins, est un exemple illustratif. Papandreou notifie que la question de contrôle se dérobe totalement et on considère que les agents affectés disposent de moyens pour se soustraire à l'externalité, en s'éloignant du producteur de la nuisance ou en se protégeant. Selon Géniaux (1999), suite aux critiques de Papandreou sur les conditions de Baumol et Oates, on retient que la version de Papandreou de la première condition de ces auteurs est : *Une externalité est présente chaque fois que les droits de propriété ne sont pas complètement définis.*

Dans une optique de distinction des biens collectifs, la question de contrôle et du caractère intentionnel de l'externalité revêt une importance capitale (Berta, 2008). Dans une situation où le bien collectif est considéré comme une externalité, sa consommation n'est pas forcément subie. Mishan (1971) trouve qu'il n'y a pas de différence entre les deux concepts, juste une différence de motivation. Pour lui, *les bénéfices générés par la consommation d'un bien privé par un individu sont non intentionnels quand les bénéfices engendrés par un bien collectif sont clairement intentionnels.*

De tout ce qui précède, il apparaît que la notion d'externalité semble ne pas avoir une définition exhaustive. Le débat sur les externalités reste toujours d'actualité tant que les activités économiques se déroulent. Eu égard à tout ce qui précède, les externalités ne sauraient être sans conséquences déterminantes. Ainsi, nombreux sont les avantages possibles de même que les divers coûts inhérents aux externalités. La sous-section suivante aborde ces aspects des effets externes.

### 1.1.2 Les coûts et les avantages des externalités

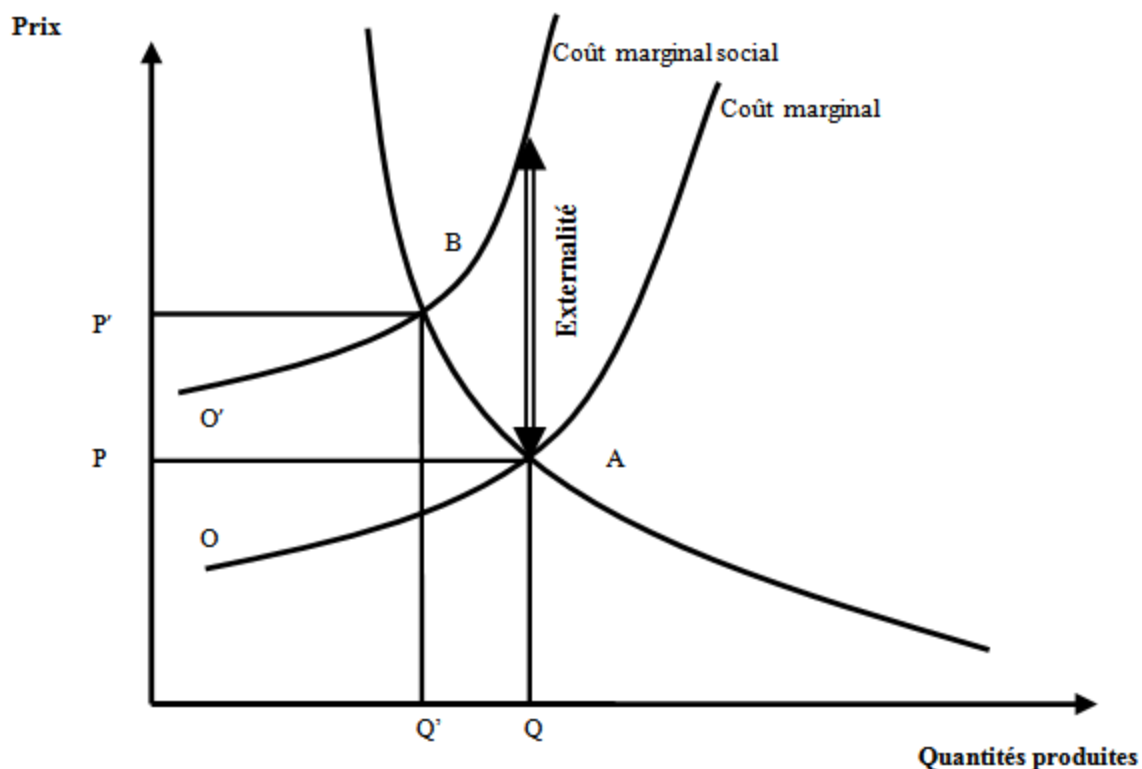
De la définition de Pigou, il ressort que les effets externes ont des avantages et des coûts. Alors, les externalités présentent des avantages et des coûts qui méritent de notre part une attention particulière, compte tenu du thème que nous traitons dans cette thèse. Comment perçoit-on les coûts et les avantages des externalités ?

#### 1.1.2.1-Les coûts des externalités

En général, toute activité économique a un coût. Deux sortes de coûts sont identifiées dans le cadre des externalités : les *coûts sociaux* et les *coûts privés*. Les coûts sociaux constituent l'ensemble des coûts imposés par une activité à toute la collectivité. Les coûts privés sont ceux encourus par un agent pour entreprendre une activité. Pour Thiombiano (2004), on peut déduire de ces coûts, les coûts externes par la relation suivante :

$[\text{Coûts externes}] = [\text{coûts sociaux}] - [\text{coûts privés}]$  ; ces coûts externes comprenant, entre autres, l'ensemble des coûts environnementaux possibles liés à l'activité économique donnée (par exemple la pollution des automobiles). La distinction entre les deux sortes de coûts s'observe sur le graphique 1.1 :

Graphique 1.1: Externalité rigoureuse, écart entre coût social et coût privé



Source : Thiombiano, 2004

On suppose une activité de production industrielle d'un bien quelconque. En absence de toute réglementation antipollution et en admettant une situation de concurrence parfaite pour ce bien, la quantité produite et le prix à d'équilibre sont respectivement  $Q$  et  $P$  (graphique 1.1). En admettant que les coûts non compensés sont infligés par cette production à d'autres agents, c'est-à-dire qu'il y a, pour cause de pollution, une externalité, on peut dire que le prix  $P$  du marché ne reflète pas la totalité des coûts engendrés par cette production. Le coût privé de production doit en réalité en être augmenté des éléments du coût social jusque là non intégré ; ce qui est traduit sur la graphique 1.1 par un déplacement

de la courbe d'offre de O à O' ; autrement dit, par le passage du coût marginal privé au coût marginal social. L'intégration de ces coûts, qui correspond à une internalisation de l'externalité, conduit à la détermination d'un nouveau prix P' plus élevé pour le bien et d'une moindre quantité produite Q'.

En parlant des coûts des externalités, CGDD (2009)<sup>5</sup> montrait même que dans le domaine du trafic routier, d'énormes coûts sont identifiés dont celui des externalités environnementales et sanitaires. Cette étude distingue les coûts d'insécurité, du bruit et de la pollution locale de l'air ainsi que l'effet de serre. Ces externalités ont des effets directs de court terme sur la santé, voire sur la mortalité. Le fait que chaque véhicule parcourt un kilomètre supplémentaire engendre un coût pour la société nommé *coût marginal social*.

Les effets externes ne présentent pas que des coûts, il est nécessaire de mettre en lumière aussi les avantages possibles de ceux-ci.

### 1.1.2.2 Les avantages des externalités

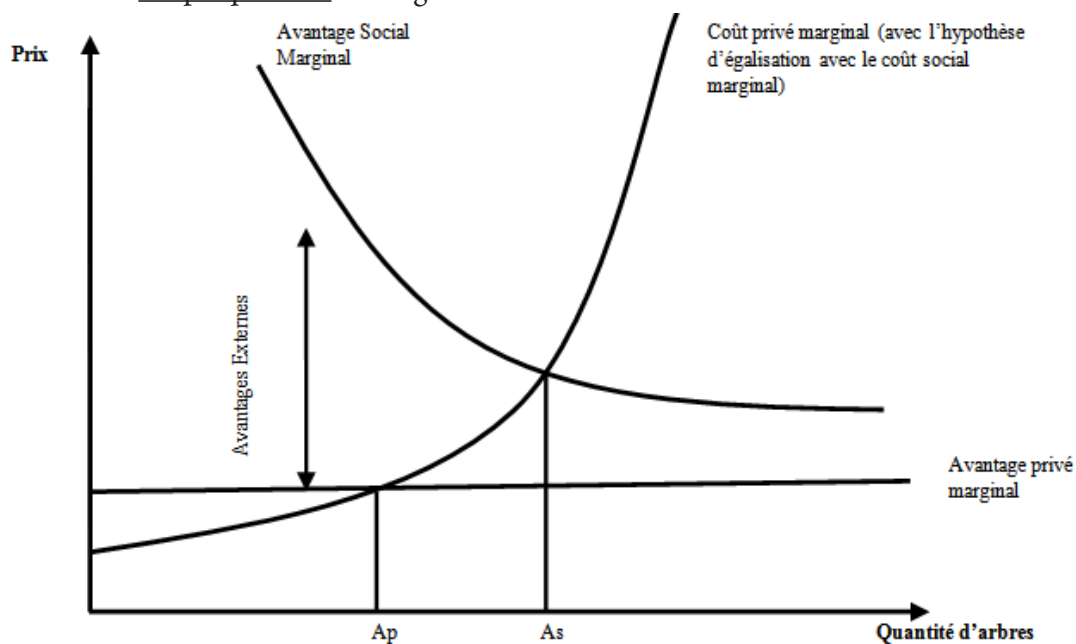
Par rapport aux externalités, on distingue deux types d'avantages : les avantages privés et les avantages sociaux. Tandis que les avantages privés sont ceux que retire l'agent économique, résultant de son activité, les avantages sociaux sont ceux retirés par l'agent économique entreprenant l'activité de même que les autres agents économiques à cause de cette activité. Pour Thiombiano (2004), la relation ci-après peut être établie :

$$\text{Avantages sociaux} = \text{Avantages privés} + \text{Avantages externes}$$

Ces avantages externes prenant en compte tout impact positif sur l'environnement engendré par l'activité (par exemple une reforestation). L'écart entre les deux sortes d'avantages se trouve représenté sur le graphique 1.2.

On suppose le déboisement d'un terrain et que le propriétaire du terrain se mette à prendre la décision du nombre d'arbres à planter à nouveau sur une certaine superficie.

Graphique 1.2 : Avantages dans le cas de déboisement d'un terrain



Source : Thiombiano, 2004

<sup>5</sup> CGDD est le Commissariat Général au Développement Durable du Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable au Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer en France

D'après le graphique 1.2, l'avantage social marginal est supérieur à l'avantage privé marginal. De plus la courbe de l'avantage social marginal est au dessus de celle de l'avantage privé marginal. Ainsi, des externalités positives se dégagent. Le propriétaire terrien égalisera l'avantage et le coût privés liés au reboisement, ce qui le conduira à planter un nombre d'arbre  $A_p$  correspondant à la projection sur l'axe des quantités du point d'intersection des deux courbes. Mais du point de vue de la communauté, il semble être optimal d'égaliser le coût et l'avantage sociaux. De ce fait la quantité optimale à reboiser est celle qui est représentée par  $A_s$ .

La pollution de l'air qui représente l'externalité dont traite cette thèse, n'en demeure pas moins sans coûts. Cette réalité n'est pas sans inconvénients sur les décisions publiques.

Dans une situation d'externalités, le problème d'efficacité économique se pose généralement. Pour que les décisions qui seront prises dans un cas pareil soient efficaces, il apparaît important d'internaliser les effets externes. La diminution des inefficacités qui résultent de la présence des externalités, constitue l'objectif de l'internalisation. Pour ce faire, plusieurs instruments sont utilisés.

Dans la pratique, comment internalise-t-on les externalités de pollution?

La seconde section de ce premier chapitre s'appuie sur cette question et apporte l'éclairage nécessaire.

## 1.2 Internalisation des externalités

En général, une situation comportant des externalités, est qualifiée de situation non optimale. D'après l'économie du bien-être, si la production d'une firme entraîne une nuisance donnée qui affecte le bien être d'autres agents, sans aucune compensation, le coût marginal social de la production est plus élevé que le coût de production marginal privé. L'écart entre les deux coûts, fait qu'on ne se trouve plus en situation correspondant à un optimum de Pareto. Pour revenir à une situation Pareto optimale, il va falloir combler cet écart. C'est ce que l'on désigne par l'internalisation de l'externalité.

Plusieurs solutions sont proposées pour corriger l'inefficacité associée aux externalités. La première solution est liée à l'utilisation d'une taxe ou redevance. La sous-section ci-après aborde ce cas.

### 1.2.1 La solution pigovienne<sup>6</sup>

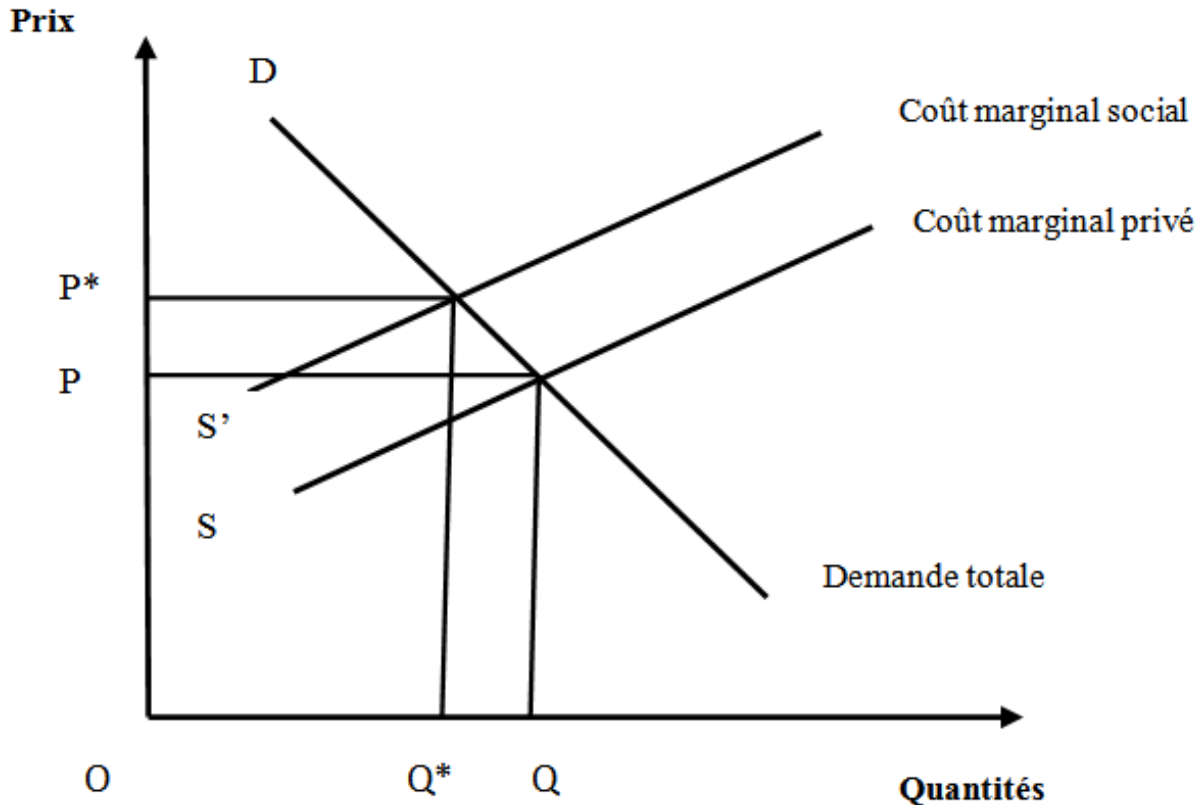
L'internalisation proposée par Pigou (1920) pour combler l'écart entre coût social et coût privé est de faire payer une taxe ou redevance à l'émetteur de la nuisance. Cette taxe en réalité, vient donner un prix à la nuisance. L'instauration d'une taxe équivaut à la prise en compte de la déséconomie dans les coûts de l'émetteur. Cette internalisation par une taxe, proposée par Pigou, est dénommée « solution pigovienne de l'externalité ». Le développement et la formalisation de cette solution ont été faits par Meade (1952). Un débat reste autour de cette solution fiscale proposée par Pigou. Il s'agit en réalité de l'optimalité de la situation provenant de cette solution. Pour Pigou, il n'y a pas de doute en ce qui concerne l'optimalité de la solution. D'autres auteurs précisent que l'optimalité serait atteinte que lorsque le produit de la taxe est versé à la victime de l'effet externe, pour que cette dernière, voie une compensation du dommage résiduel.

Dans les années 60, des économistes comme Mäler (1974), introduisent explicitement dans le modèle des effets externes, les coûts de dépollution associés à une politique de réduction des rejets de pollution. Maximiser le bien-être revient à minimiser le coût du dommage. La taxe induit un taux de dépollution tel que le coût marginal de traitement est égal au dommage marginal social (Mäler, 1974). L'imposition d'une taxe permet de minimiser les coûts sociaux de dépollution. Dans l'analyse de Pigou, la seule réaction de la firme suite à l'imposition d'une taxe, n'est qu'en termes de quantité produite.

<sup>6</sup> Le qualificatif « pigovienne » provient de Pigou, il s'emploie aussi sous la forme « pigouvienne ». Donc on utilise indifféremment les deux qualificatifs.

On considère une activité de production d'un bien donné, occasionnant des nuisances sur une frange de la population. Il est supposé que ces nuisances peuvent être évaluées pour chaque niveau de la population du point de vue monétaire sur l'ensemble de la population considérée. En l'absence de régulation du marché, on a la configuration de le graphique 1.3.

Graphique 1.3 : La taxe pigovienne



Source : Géniaux, 1999

Ici, les lois de l'offre et de la demande font qu'une quantité  $Q$  s'échange au prix  $P$ . Il existe alors un niveau de pollution  $E(Q)$  associé à la production  $Q$ . Le prix  $P$  et la quantité  $Q$  sont obtenus par égalisation de l'offre  $S$  et de la demande  $D$  avec un coût de production privé ne prenant pas en compte les externalités produites  $E(Q)$ . En tenant compte des coûts marginaux sociaux de production on peut reconstruire la courbe d'offre  $S'$ , suite aux évaluations monétaires des externalités subies par la population. La taxe pigovienne correspond alors à la différence entre les deux courbes d'offre  $S$  et  $S'$ . Au niveau d'équilibre  $(Q^*, P^*)$ , la production est socialement optimale mais l'externalité n'a pas disparu. La pollution se situe au fait à un niveau socialement optimal  $Q^*$  tel que :

$$E'(Q^*) < E(Q). \quad (3)$$

On suppose que les firmes font face à une demande inverse du bien définie par :

$P(Q) = \alpha - \beta Q$ , et qu'elles produisent à un coût marginal constant  $k$  tel qu'on ait  $\beta > 0$  et  $0 < k < \alpha$ . On suppose que les dommages soient linéaires en  $Q$ , donc la fonction de dommage peut être de la forme  $\lambda Q$  avec  $\lambda < 0$ . Sous l'hypothèse d'une concurrence pure et parfaite le prix d'équilibre en l'absence de toute taxe est égal au coût marginal  $k$  et les firmes ne dégagent pas de profit. Il s'agit ici de retrouver le niveau de production  $Q^*$  qui maximise le surplus global (surplus des consommateurs et producteurs) déduit du dommage dû à la pollution. On définit ainsi la fonction du bien-être social par :

$$W = \int_0^Q P(Y) dY - (\lambda + k)Q \quad (4)$$

Les CPO de la maximisation de  $W$  donnent :

$$\alpha - \beta Q - \lambda - k = 0 \quad (5)$$

On déduit le niveau optimal de production qui est :

$$Q^* = \frac{\alpha - \lambda - k}{\beta} \quad (6)$$

En l'absence de toute externalité le niveau de production est :

$$Q = \frac{\alpha - k}{\beta} > Q^* \quad (7)$$

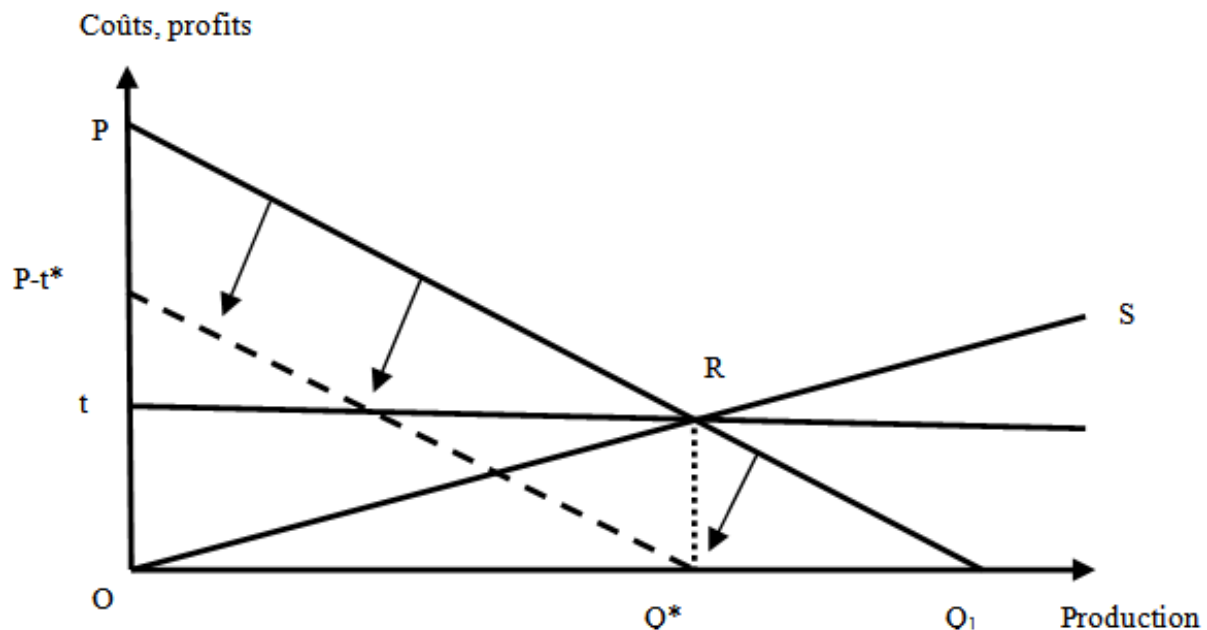
Par conséquent la taxe optimale  $t^*$  qui permet d'atteindre le niveau optimal de production  $Q^*$ , est :

$$t^* = \lambda \quad (8)$$

De l'imposition de cette taxe, il découle un niveau de pollution socialement optimal non nul  $E^*$ , à l'exception du cas où le dommage marginal de la pollution est très élevé (si  $\lambda > \alpha - k$ ) de manière à ce que la taxation conduit à l'arrêt de la production.

En partant du modèle de Turvey (1963), l'internalisation fiscale peut être illustrée par le graphique 1.4 ci-dessous. Sur ce graphique, la droite  $PQ_1$  désigne la courbe de profit marginal du pollueur. Sans externalités le niveau de la production se fixe à  $Q_1$  qui rend maximum le profit total.  $[OS]$  représente la courbe du coût marginal de dommages de la pollution. Le niveau de production socialement optimal se situe en  $Q^*$ ;  $t^*$  est la taxe uniforme imposée, égale au coût marginal de la pollution à l'optimum, le profit marginal du pollueur se trouve alors réduit du montant de la taxe. La pollution soumise à la taxe optimale au taux  $t^*$ , supporte en fait trois sortes de coûts: le coût de la dépollution effectuée, le dommage résiduel et une taxe résiduelle comme une « rente » versée pour l'utilisation de l'environnement comme puits pour la pollution résiduelle.

Graphique 1.4 : Internalisation au moyen de la taxe pigovienne





Alors, cette solution pigovienne d'internalisation de l'externalité est caractérisée par le paiement par l'émetteur de l'effet externe, d'un montant égal à la désutilité marginale que celle-ci produit sur la collectivité. Dans l'optique d'une régulation de la pollution atmosphérique d'origine motocycle à Cotonou, Avocé Viagannou (2002) a montré qu'une taxation pourrait se faire et le niveau de cette taxe est facilement dérivable par le « Consentement A Payer » des conducteurs de taxi-motos. Mais il convient de faire remarquer que dans la ville de Cotonou, la situation de la pollution de l'air revêt un caractère spécifique dans la mesure où beaucoup d'émetteurs sont en même temps des victimes.

Il ressort de bon nombre de travaux que la réglementation par les taxes, est nécessaire. Ainsi, Jöst et Quaas (2009) ont analysé les externalités qui se produisent lorsque les parents décident du nombre de naissances et de la consommation dans une économie, dans laquelle la production de biens de consommation provoque des émissions nocives pour l'environnement. Leur analyse montre que les décisions individuelles des ménages en matière de consommation et de la fertilité et les décisions des entreprises concernant les délais de production conduisent à un développement inefficace de l'économie. Ils ont montré que le type d'externalité associée à la décision des parents sur le nombre de naissances est différent, selon le type de ménage considéré. Dans le cas des ménages dynastiques, la taille résultante de la population est supérieure à celle de l'optimum social. Les émissions totales sont plus élevées que l'optimum social, parce que les décideurs ne prennent pas en compte les émissions de polluants supplémentaires, qui sont causés par des membres supplémentaires du ménage. La décision de la famille dynastique serait socialement optimale, s'il n'y avait pas de problème d'environnement. Ils ont donc conclu que le problème de l'environnement entraîne un problème de population supplémentaire, car il génère deux effets externes distincts. Pour ces auteurs, avec un choix approprié des taxes réglementaires, un régulateur est capable d'atteindre l'optimum social. Il est important de noter qu'une telle réglementation est sensiblement différente des politiques existantes de commandement et de contrôle qui fixent le nombre d'enfants que les parents sont autorisés à avoir (comme par exemple, « politique de l'enfant » de la Chine), car elle préserve les parents de la liberté de choisir le nombre d'enfants (Jöst et Quaas, 2009). La différence entre le taux d'imposition sur le taux de natalité dans le cas des micro-ménages et le taux de la taxe sur la taille du ménage dans le cas des ménages dynastiques, est importante: Dans le cas des ménages dynastiques, les paiements d'impôt sont égaux aux taxes sur les émissions qui devraient être payées par chaque membre du ménage. Dans le cas des micro-ménages, les paiements d'impôt sont égaux aux taxes sur la pollution que chaque enfant nouveau-né devra verser sa vie entière. Selon les mêmes auteurs, la répartition socialement optimale peut être atteinte par une taxe directe sur la taille future du ménage.

Yin et Lawphongpanich (2006) ont abordé les questions d'internalisation des externalités liées au trafic de réseaux routiers. Ils ont montré qu'en plus de la tarification au coût marginal social, les systèmes de tarification de la congestion sont considérés comme le rendement d'une distribution d'écoulement du trafic avec le temps minimum total de voyage, comme un optimum de premier rang. Ces auteurs ont proposé un contre-exemple montrant que le coût marginal social et d'autres régimes de tarification de la congestion, ne conduisent pas nécessairement à moins d'émissions du trafic. Sans l'aide de toute subvention, ils indiquent qu'il existe toujours un système de tarification qui induit une distribution de fluidité avec un minimum d'émissions. Cela suppose que de nombreuses externalités existent dans un contexte de congestion de trafic routier, et une tarification convenable permet de les réduire. Mais CGDD (2009) trouve que dans un contexte d'externalités routières, les coûts sociaux ne sont pas aussi faciles à internaliser. Cette internalisation exigerait la connaissance du niveau de congestion, du type de véhicule, du niveau d'urbanisation etc. En effet, selon cette étude, une tarification routière peut être faite à l'aide de différentes formes de taxes, mais elle ne saurait être telle que tout usager de la route paie pour tous les coûts sociaux qu'il engendre.

Chang et al (2009) ont développé un modèle dynamique du cycle réel qui met en évidence les externalités de la pollution et les imperfections du marché et l'utilisent pour déterminer la politique fiscale socialement optimale qui englobe les revenus du travail, les revenus du capital, et les taxes sur les émissions. Ils ont montré dans leur papier que l'impôt optimal sur le capital et les revenus du travail

ne porte que sur l'inefficacité de production, tandis que l'impôt sur les externalités environnementales affecte à la fois l'inefficacité de production et les retombées sur l'environnement. Ils précisent que la taxe sur les émissions socialement optimales sera caractérisée par un stabilisateur keynésien comme cela vise à atténuer les fluctuations du cycle économique, c'est-à-dire, qui stimulera l'économie avec une taxe d'émission plus faible pendant les récessions. Dans une analyse positive, ces auteurs ont indiqué que les effets bénéfiques découlant de taxes sur la pollution deviendront plus grands et constituent le degré de pouvoir de monopole des entreprises.

Une autre solution d'internalisation des externalités passe par l'usage d'une négociation entre les parties (émetteur et récepteur de l'externalité). La sous-section suivante fait la clarification sur cet instrument.

### 1.2.2 La négociation bilatérale

Le théorème de Coase constitue le fondement de cette négociation. D'après Coase (1960), une négociation bilatérale entre émetteur et victime pourrait permettre d'internaliser l'externalité, à condition que le coût d'organisation de cette négociation ne soit pas prohibitif et ne dépasse pas le gain social attendu. Il est important d'insister sur la condition de nullité des coûts de transaction dans la démonstration de Coase. La principale idée sur laquelle Coase s'appuie est qu'il n'est pas nécessaire que les marchés soient totalement concurrentiels pour atteindre l'efficacité. En situation d'inefficacité les agents négocieront entre eux jusqu'à l'atteinte de l'efficacité. La solution fiscale pigovienne possède, selon Coase, un caractère unilatéral. Pour lui, on est confronté à un problème de nature réciproque. La question qu'il se pose d'ailleurs est de savoir si l'on doit permettre à un agent A de léser un agent B ou réciproquement ? Dans cette situation, la solution trouvée par Coase est la négociation bilatérale, qui donne lieu à deux variantes (Faucheux et Noël, 1995) :

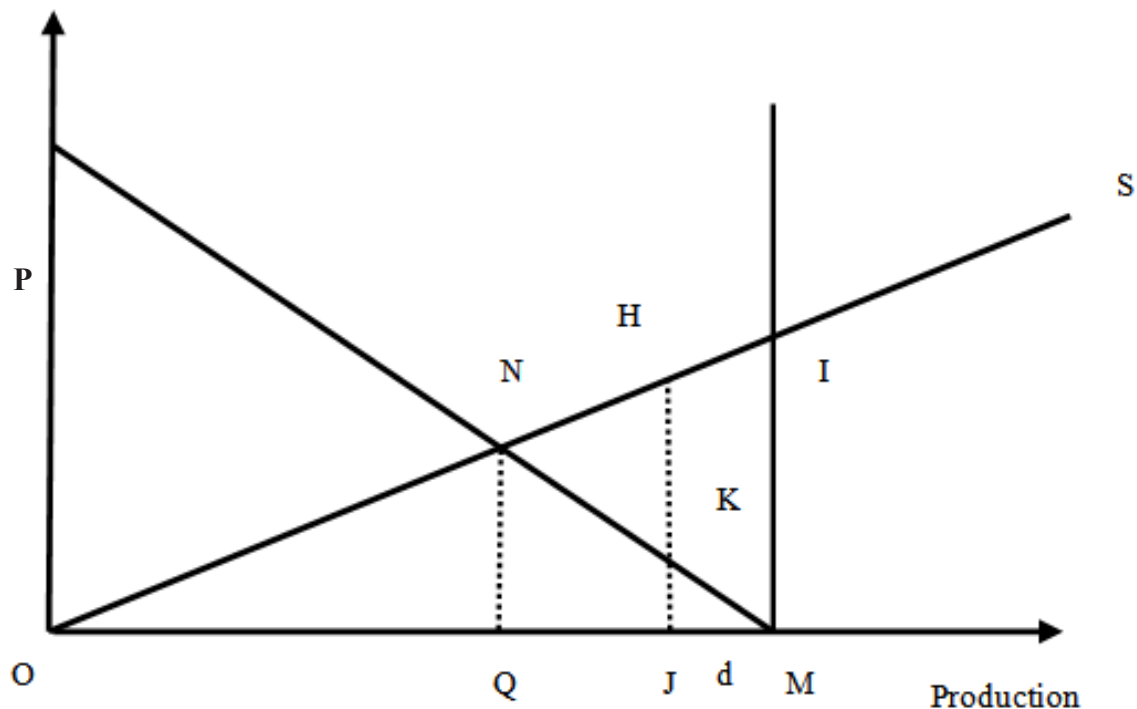
*1<sup>ère</sup> variante* : Le versement par l'émetteur de l'externalité d'une indemnité compensatoire des dommages subis par la victime du fait du maintien de son activité.

*2<sup>ème</sup> variante* : Le versement par la victime potentielle d'une somme susceptible de dissuader l'émetteur de se livrer à son activité nuisible.

Le théorème de Coase montre que dans chacune des situations, que c'est le montant que chaque partie accepte de recevoir et/ou de payer qui détermine le point d'équilibre de la négociation. Ce point est identique dans tous les deux cas et constitue un optimum. Lors de la négociation, le type de variante qui s'établit, est fonction de l'allocation initiale des droits de propriété entre les agents, ce qui amène à poser a priori une règle de responsabilité. Et comme l'ont rappelé Satoguina et Alinsato (2010), la validité du théorème exige l'absence de coût de transaction. Ainsi, la présence des coûts de transactions supérieurs aux gains de la négociation, amène celle-ci à ne plus se réaliser. Un optimum peut exister même en absence d'une négociation du fait que les coûts de transaction dépassent les bénéfices nets attendus de la négociation.

La négociation bilatérale n'implique pas l'intervention de l'Etat ou d'une autorité quelconque (contrairement à la solution fiscale) et elle peut constituer une solution mutuellement avantageuse. En partant du graphique de Turvey, on a une illustration précise.

Graphique 1.5 : Internalisation au moyen d'une négociation bilatérale

Coûts,  
Profits

Source : Faucheux et Noël, 1995

Sur cette figure, le segment  $PM$  désigne le profit marginal et la demi-droite  $[OS)$  traduit le dommage marginal. Nous distinguons deux cas dans la démarche de négociation.

*1<sup>er</sup> cas : la victime indemnise l'émetteur*

D'après le graphique ci-dessus la somme maximale que la victime est disposée à verser à l'émetteur pour que celui-ci réduise sa production d'une quantité  $dq$ , est égale à l'aire  $(JHIM)$  qui représente les dépenses de dépollution évitées par la victime si l'émetteur réduit sa production de  $dq$ . L'aire  $(JKM)$  représente la somme minimale exigée par l'émetteur pour réduire sa production de  $dq$ . Aire  $JHIM >$  aire  $JKM$ , ce qui traduit la possibilité d'un accord et le gain collectif de cet accord est : aire  $JKIM -$  aire  $JKM =$  aire  $MKHI$  pour la réduction de  $dq$  ; l'optimum est atteint au niveau du point  $Q$  où le gain collectif est maximum.

*2<sup>ème</sup> cas : l'émetteur indemnise la victime*

Ici la négociation engendre un gain collectif égal à aire  $OPNQ -$  aire  $ONQ =$  aire  $ONP$ . Dans ce cas, l'émetteur augmentera sa production en indemnisant sa victime.

Par ailleurs il est important de noter que la négociation dépendra des coûts qui lui sont associés, en l'occurrence le nombre de victimes trop grand.

Dans une situation de pollution due à un agent A et touchant un agent B, si A possède des droits de propriété sur l'environnement, selon Coase, alors la victime B doit le dédommager pour l'empêcher de nuire. Dans le cas contraire si c'est B qui possède ces droits, alors A doit compenser les dommages subis

par B. L'analyse de Coase met l'accent sur les droits de propriété. Le développement de cet aspect est présenté dans le paragraphe suivant.

### 1.2.3 L'échange des droits de propriété

Selon Dales (1968), l'existence des externalités s'attribue à l'absence ou la mauvaise définition des droits de propriété sur les biens. Selon cet auteur, les droits de propriété doivent être exclusifs et transférables afin de permettre l'échange marchand. Seule la possession de quatre caractéristiques par une structure de droits de propriété, permet en situation de concurrence, d'atteindre l'optimum (Fauchaux et Noël, 1995). Il s'agit de:

- L'universalité : toutes les ressources existantes doivent être appropriées privativement et les titres de propriété correspondant doivent être sans ambiguïté ;
- L'exclusivité : tous les coûts et tous les bénéfices engendrés par la possession et l'usage de la ressource doivent être à la charge du propriétaire ou lui revenir, et à lui seul, soit directement, soit indirectement par un échange marchand ;
- La transférabilité : tous les droits sont librement transférables par un échange volontaire ;
- L'applicabilité : les droits de propriété doivent être respectés et protégés contre les empiètements involontaires ou volontaires d'autrui.

Les effets externes, qui sont des interactions hors échange marchand, correspondent alors à une carence des droits de propriété sur les *biens environnementaux* (l'air par exemple). Pour les biens publics qui peuvent être consommés sans rivalité et sans exclusion, les droits de propriété sont atténués.

Lorsque les droits de propriété exclusifs et transférables, sont définis sur les biens environnementaux, les problèmes d'environnement peuvent se régler par la négociation bilatérale recommandée par Coase. Dans le cas contraire, Dales propose l'établissement d'un faisceau de droits de propriété exclusifs et transférables en cas de nécessité sur les biens considérés comme non appropriables et comme tels, source d'externalités (par exemple l'air, l'eau etc.). Ces droits d'utilisation qui sont de véritables *droits à polluer*, peuvent être échangés sur un marché. Sur ce dernier, un prix d'équilibre va se fixer et correspondra au coût marginal d'épuration pour un montant donné de pollution. De ce fait, il s'agit d'un mode d'internalisation de l'externalité qui est intégrée dans le calcul des agents, puis disparaît en tant que phénomène hors marché.

Comme le précise Géniaux (1999), Dales (1968) décrit plus exactement le processus d'instauration d'un système de droits d'usage transférables. D'abord, les autorités en charge de la pollution et de la distribution des droits, font un découpage en zones pour lesquelles la pollution de la ressource est totalement indépendante des usages faits de cette ressource dans les autres zones, et une unité pour ces droits qui soit pertinente avec l'ensemble des usages potentiels. Ensuite, ces autorités déterminent un niveau de pollution par zone, ce que Dales (1968) considère comme un processus entre contraintes politiques et contraintes économiques, et créent un marché de droits sur lequel une quantité de droits correspondant à l'objectif de qualité, pourront être échangés. Donc, les droits distribués doivent être exclusifs et parfaitement transférables, puis le marché sur lequel s'effectue les échanges parfaitement concurrentiel. De ce fait, les prix explicites pourront apparaître dès que l'échange a lieu (Géniaux, 1999). Cette considération revêt selon Géniaux, un double avantage, d'une part elle permet d'avoir un coût de mise en œuvre largement inférieur aux cas de Pigou et Coase, et d'autre part elle conduit à une répartition efficace des efforts de réduction des pollutions de la part des détenteurs de droits.

L'internalisation de l'externalité peut se faire en recourant à un autre instrument. Ainsi, une subvention appropriée peut s'avérer un moyen important dans des circonstances données. Le paragraphe ci-dessous donne le détail sur cet instrument.

#### 1.2.4 La subvention

Un système de subvention proportionnelle au niveau d'émission de polluants peut être imaginé, et conduire au même résultat qu'un système de taxes. Ainsi, à l'optimum de la firme, le coût marginal de dépollution qui est égal au taux de la subvention ne présente pas les mêmes implications que la taxe, au niveau des dépenses des comportements des pollueurs, du volume de la pollution (Bramhall et Mills, 1996).

Baumol et Oates (1988) montrent que si dans un monde concurrentiel, la subvention basée sur une réduction des rejets de polluants, tend à réduire les émissions de la firme, elle augmente les émissions de la branche. On démontre ainsi que si la firme est prise isolément, la subvention peut amener une réduction de la production et donc de la pollution ; au contraire pour l'ensemble de la branche, on a, toutes choses étant égales par ailleurs, une augmentation de la production ou de la pollution (Faucheux et Noël, 1995).

En pratique, on peut imaginer de subventionner la dépollution en établissant une subvention proportionnelle à la réduction de la pollution. En supposant qu'un niveau de pollution maximum  $L_1$  est fixé et qu'une firme s'apprête à polluer au niveau  $L_2$  ( $L_2 < L_1$ ) ; elle peut bénéficier d'une subvention ( $S$ ) par unité de pollution éliminée de sorte que le montant de la subvention soit égale à  $S(L_1 - L_2)$ .

Selon Pigou (1920), la subvention était réservée aux externalités positives. Cependant Coase (1960) introduit pour le seul cas des externalités négatives la possibilité de deux paiements symétriques : paiement compensatoire de l'émetteur à la victime ; paiement « dissuasif » de la victime potentielle à l'émetteur potentiel. Etant entendu que ce contexte Coasien est plutôt celui d'une négociation bilatérale directe entre agents, que celui de la taxe ou de la subvention, nécessitant le recours de l'Etat, rien n'interdit à priori de considérer qu'il s'agit dans le deuxième cas d'une subvention égale au gain social résultant de l'abstention de nuire, pourvu qu'elle soit versée par la victime potentielle.

#### 1.2.5 La supériorité de la taxation

L'application d'un instrument ou d'un autre entraîne des coûts pour l'économie (coûts de mise en œuvre par exemple). Par conséquent, il faudrait optimiser les différentes actions et choisir des instruments dont les coûts de gestion sont faibles. De ce point de vue, l'expérience des pays développés montre que deux instruments économiques répondent plus à une telle préoccupation. Il s'agit des permis négociables et la taxation (OCDE, 1992 ; Barde et Smith, 1997 ; Martin, 2000). La question qui vient à l'esprit après avoir argumenté en faveur des deux instruments économiques précédents est celle de savoir si on peut appliquer les deux ; sinon, lequel des deux faut-il choisir ? L'idéal serait d'appliquer les deux et y éventuellement ajouter les autres puisque dans certains cas comme celui des entreprises à haute intensité énergétique dont la compétitivité serait négativement affectée par la taxation, le permis négociable est plus approprié. Cependant, vu les exigences institutionnelles des permis négociables en terme de développement des droits de propriété, et de dispositions législatives appropriées, cet instrument est moins répandu que la taxation.

Par contre, la taxation paraît non seulement être moins coûteuse mais plus facile à mettre en œuvre et donc plus efficace. Compte tenu des avantages de cette option, plusieurs pays de l'OCDE l'ont adoptée (Corfee-Marlot et Jonas, 1992 ; Barde et Smith, 1997 ; Martin 2000).

L'idée selon laquelle la taxation est plus efficace repose sur l'hypothèse selon laquelle elle permet de réduire le cas échéant l'activité polluante. Dans les cas où cette taxation porte sur la consommation

finale de biens comme l'énergie, la taxation conduit à une baisse de la consommation et par ce moyen une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). C'est le cas du gazole en France où une élévation de la fiscalité sur ce produit pour couvrir la totalité des coûts conduirait à une baisse de la consommation de 2,4 milliards de litres et réduirait de ce fait les émissions de CO<sub>2</sub> de 6,8 millions de tonnes (Martin, 2000). Cela signifie que l'efficacité de la taxe dépend en réalité des élasticités directes de la demande par rapport au prix ainsi que des élasticités croisées de la demande par rapport au prix des biens substituables.

Tous ces instruments d'internalisation évoqués sont caractérisés d'instruments économiques. On peut distinguer un certain nombre d'instruments non économiques qui servent d'internaliser les effets externes.

### 1.2.6 Les autres instruments d'internalisation

Pour une régulation des externalités environnementales, plusieurs instruments réglementaires sont utilisés, en particulier les obligations juridiques de faire ou de ne pas faire et le contrôle judiciaire de la responsabilité qui découle des activités ayant une incidence sur l'environnement. Aussi, les normes qui constituent un type de création administrative original et développé en matière d'environnement, sont-ils abordés.

#### 1.2.6.1- La réglementation, l'obligation et l'interdiction

La tradition réglementaire particulièrement forte dans certains pays comme la France, vise à tenter de régler les problèmes d'environnement directement par des politiques de protection environnementale. Ces dernières mettent en place des objectifs de qualité environnementale concernant par exemple l'eau, l'air ou des normes de qualité. Cette tradition réglementaire fixe ensuite des limites à ne pas dépasser pour les émissions de polluants ou oblige à choisir tel type de processus productif, à l'aide d'un système d'autorisation et de contrôle. Le non-respect de la réglementation établie (normes, autorisations, interdictions) est sanctionné pénalement au même titre que la violation de toute règle juridique d'ordre public. Alors, l'administration en charge de l'environnement est soumise à des contraintes de contrôle. Ces comportements réglementaires ne sont pas rigoureusement observés au Bénin malgré d'importants efforts faits pour la protection de l'environnement. Toutes les dispositions réglementaires s'inscrivent en général dans un cadre législatif<sup>7</sup>. Ceci conduit à l'adoption de plusieurs lois cadres dans le domaine de l'environnement ; par exemple en France on a les lois sur les installations classées, la loi sur la protection de la nature, des lois sur l'eau etc. Sur un plan plus théorique, on peut bien entendu, à la lumière de l'économie des conventions, considérer la gestion réglementaire de l'environnement comme un cas de définition d'une convention commune là où le jeu du marché apparaît comme trop coûteux (coûts de transaction élevés) ou les coûts de danger potentiellement trop importants comme les dommages à la santé publique (Orléan, 1994).

Dans le domaine de la pollution de l'air, il est un peu délicat d'interdire de polluer. La pollution est en réalité incontournable dans tout processus de production et de consommation de biens utiles. Des dispositions peuvent être prévues pour limiter les émissions de polluants. Autrement dit, une réduction de ces émissions peut être l'objectif poursuivi afin d'atténuer un peu l'ampleur des effets dus à ces émissions.

Le contrôle direct prend souvent la forme de définition de normes.

#### 1.2.6.2 Les normes pour une internalisation

Selon Barde (1992) il existe quatre grands types de normes en matière d'environnement : des normes de qualité d'environnement, des normes d'émission, des normes de produit et des normes de procédé.

<sup>7</sup> Cas de la loi cadre sur l'environnement au Bénin (Loi n° 98 – 030 du 12 février 1999).

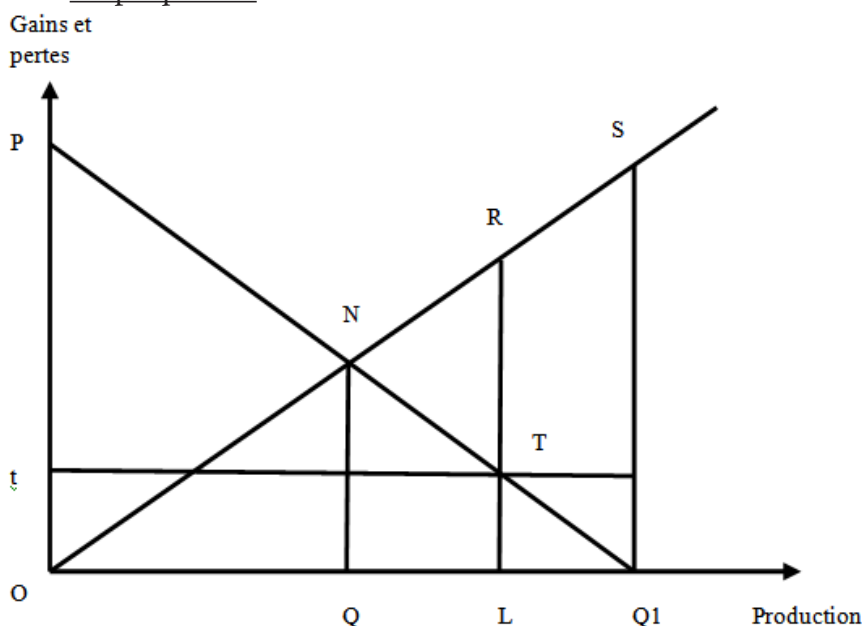
- Les normes de qualité d'environnement (ou norme d'ambiance) s'apparentent à des objectifs à atteindre. Elles définissent des caractéristiques auxquelles doivent répondre les grands milieux physiques.
- Les normes d'émission fixent les quantités rejetées maximales d'un polluant donné. Il s'agit d'une obligation de résultat.
- Les normes de produit définissent les caractéristiques propres des produits (teneur en soufre d'un combustible, teneur en plomb de l'essence etc.).
- Les normes de procédé fixent les procédés techniques de production à employer, les équipements antipollution à installer (hauteur des cheminées, type de dépoussiéreurs). Il s'agit d'une obligation de moyens. Il faut noter par ailleurs que le caractère non incitatif des normes a été souvent souligné. Aussi, convient-il de savoir que plusieurs critères techniques et économiques sont à la base de la détermination des normes.

Il faut reconnaître que la norme en tant que telle ne fait que prévenir seulement la venue des externalités puisqu'elle vise à interdire ou à réduire les dommages résultant de l'action d'un agent. Mais il faut noter qu'une combinaison des instruments est possible compte tenu de leur complémentarité.

### 1.2.7 Une combinaison des instruments d'internalisation

Afin d'atteindre une efficacité dans l'usage des différents instruments d'internalisation, une combinaison de ces derniers est possible. Ainsi, on peut alors combiner la taxe et la subvention d'une part, et d'autre part la taxe et la norme. Dans le premier cas, il s'agit d'opérer par subvention en deçà d'un certain niveau de production nocive et par taxation au-delà. Autrement dit, on combine une norme quantitative arbitraire (niveau de pollution) au-delà de laquelle on taxera le pollueur ; en dessous de cette norme, on laisse la victime potentielle offrir au nuiseur une subvention afin de réduire la production. Une illustration de cette situation est faite sur le graphique de Turvey ci-dessous (graphique 1.6). Sur cette figure,  $PQ_1$  représente le profit marginal et  $[OS)$  le dommage marginal. Lorsque le niveau de production au-delà duquel on taxe est  $OL$ , une décomposition du cheminement à partir de la production  $OQ_1$  maximisant le gain du pollueur, peut être faite : réduction de production de  $OQ_1$  à  $OL$  obtenue par la fixation d'une taxe  $t$ , réduction de production de  $OL$  à  $OQ$  obtenue par versement d'une subvention  $QLTN$  par la victime.

Graphique 1.6 : Combinaison d'une taxe et d'une subvention



Source : Faucheux et Noël, 1995

Dans le second cas, Baumol et Oates (1971) ont proposé la combinaison norme–taxe pour atteindre un résultat économiquement rentable. La fixation d’une norme de dépollution coûte plus chère que l’atteinte de cette même dépollution à l’aide d’une taxe. La taxe permet d’atteindre le niveau fixé par la norme au moindre coût. Cette façon de procéder semble plus raisonnable dans la mesure où l’utilisation d’un seul instrument peut ne pas permettre d’obtenir efficacement les résultats escomptés (Faucheux et Noël, 1995).

En réalité dans le cadre d’une gestion des externalités environnementales nécessitant une coordination, l’usage des approches néo-institutionnalistes répondent mieux, selon Boutry (2009).

### 1.2.8 L’approche néo-institutionnaliste de la gestion des externalités environnementales.

Cette approche trouve son fondement dans les travaux de Coase, et elle est fondée sur la notion des coûts de transaction. L’approche néo-institutionnaliste constitue une approche qui vient en complément à la théorie des externalités (Boutry, 2009). En réalité, Boutry a fait une relecture du théorème de Coase tout en mettant l’accent sur le fait que ce dernier avait une démarche d’élaboration d’une analyse complète. Ainsi, la manière d’introduire l’hypothèse des coûts de transaction positifs dans son analyse, constitue une façon d’étudier et d’endogénéiser la structure institutionnelle du système économique. Autrement dit, le fait de prendre en compte les coûts de transaction permet aisément d’appréhender les institutions composant le système économique ; et aide à solutionner les externalités à travers l’efficacité des diverses formes institutionnelles. Coase notifie que *« sans le concept de coût de transaction, qui est largement absent de la théorie économique courante, je soutiens qu’il est impossible de comprendre le fonctionnement du système économique, d’analyser utilement nombre de ses problèmes ou de construire une base solide nécessaire à la formulation d’une politique.. »* (Coase, 2005). En réalité, la subsistance des externalités trouve son explication dans des considérations institutionnelles et surtout les coûts de transaction. Au fait dans une situation où ces coûts seraient nuls, il n’aurait pas d’externalités et le recours à la loi ne serait pas nécessaire. Et comme le rappelle Boutry (2009), une internalisation des effets externes qui présente des coûts plus faibles que les bénéfices attendus par les agents, conduit à une élimination des externalités. Selon Coase, considérer le marché comme une institution, revient à prendre en considération les coûts de transaction. Au fait le marché est vu comme une institution de facilitation des échanges permettant de réaliser des économies sur les coûts de réalisation des transactions. Pour Boutry, la relecture du théorème de Coase, permet de relativiser la supériorité du marché sur les autres formes d’organisation. La forme organisationnelle préférée est celle dont les coûts d’organisation des transactions sont plus faibles que les bénéfices attendus (Boutry, 2009).

La gestion des problèmes d’externalités environnementales négatives, au regard de l’approche néo-institutionnaliste, conduit à l’adoption de diverses démarches. Ces démarches retracent les différentes tentatives d’opérationnalisation de l’approche. Il s’agit de tentatives dans la mesure où, Lévêque (2000) notifie que *la boîte à outils de l’économie institutionnelle pour traiter la réglementation environnementale est vide en comparaison de celle dont on dispose pour traiter la question industrielle du « faire ou acheter ».*

### 1.2.9 Quelques travaux empiriques portant sur l’internalisation de la pollution de l’air

La plupart des études sur la pollution atmosphérique considèrent comme principale polluant le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)<sup>8</sup>. Par conséquent les instruments de lutte contre la pollution portent surtout sur la réduction des émissions du CO<sub>2</sub>. C’est pour cela que dans les études portant sur certains pays tel que le Japon, la fiscalité a porté sur le CO<sub>2</sub> (Hibiki et al 1992, Martin 2000). Ce qui revient à limiter les GES ou dioxyde de carbone. L’une des raisons serait due au fait que le CO<sub>2</sub> contribue à l’intensification des

<sup>8</sup> Le Bénin n’en fait pas une exception, puisqu’il semble que le CO<sub>2</sub> est le plus important polluant émis au Bénin (MEHU, 2000).



radiations globales (Wiener 1992). La seconde raison est que l'état actuel des connaissances sur le mécanisme de réchauffement planétaire aussi bien que l'état actuel de la technologie ne permettent pas de mesurer tous les autres GES (Corfee – Marlot et Jonas 1992 ).

Gregory et al. (1992) rapportent l'étude du centre de recherche opérationnel de la « British Coal » qui évalue l'incidence d'une taxe de 10 \$ US/ baril sur la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> au Royaume Uni. L'objectif de l'étude en question était de quantifier l'impact d'une telle taxe que l'Union Européenne envisageait d'instituer sur l'énergie et le carbone frappant tous les combustibles fossiles et l'énergie nucléaire pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Avec une telle taxe qui est appliquée progressivement entre 1993 et 2000 ( 3 \$ en 1993 puis une augmentation de 1 \$ chaque année jusqu'en 2000 ), les initiateurs escomptent réduire de moitié en 2000 la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à leur niveau de 1990. L'étude évalue l'évolution prévisible des émissions de CO<sub>2</sub> sans la taxe, puis ce qu'elle aurait été avec la taxe via l'augmentation du prix de l'énergie. Elle calcule par conséquent la demande finale d'énergie et son évolution prévisible dans les deux cas en utilisant à la fois des indicateurs pilotes tels que le niveau de l'activité économique, la production manufacturière et les prix des différents combustibles dans les secteurs considérés, l'hypothèse étant que la quantité d'émission de CO<sub>2</sub> est fonction de l'activité économique. Les résultats montrent qu'une taxe sur le charbon et l'énergie de 10 \$/baril de pétrole entraînerait une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 8 à 10% en l'an 2000 et une diminution de 5% environ de la consommation d'énergie (Gregory et al, 1992). Ils indiquent par ailleurs que la taxe agira sur la réduction de la consommation finale d'énergie elle-même, mais que l'effet dépend des élasticités directes de la demande d'énergie par rapport au prix du charbon, du pétrole brut, du gaz et de l'électricité. En effet les élasticités directes déterminent l'ampleur de la réduction des demandes finales de consommations due à la hausse des prix alors que les élasticités croisées détermineront l'effet de substitution entre différentes catégories. Ils soulignent que le deuxième effet concerne la modification de l'équilibre optimal des combustibles utilisés dans les centrales.

Au Japon, la fréquence et la gravité du phénomène de pollution atmosphérique, hydraulique et alimentaire a amené le pays depuis le milieu des années 70 à appliquer une fiscalité sur la pollution. En particulier, depuis la fin des années 80, sept modèles destinés à évaluer les effets macro-économiques de l'instauration d'une taxe sur le carbone, ont été développés. Dans ces modèles, non seulement on utilise la taxe comme moyen de réduction des émissions des gaz à effet de serre, mais on examine les perturbations macro-économiques qu'entraînerait cette taxe principalement en terme de la baisse du PNB (Hibiki et al., 1992). Tout comme dans le cas du Royaume Uni, ce sont des modèles de prévision à la différence qu'ici on simule les conséquences sur les variables macro notamment le PNB.

Avocè Viagannou (2002) a montré que diverses mesures sont prises au Bénin pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Mais contrairement aux cas japonais et européen, les mesures ne sont pas fiscales. Partant de la loi cadre sur l'environnement (Loi n°98-030 du 12 Février 1999 au Bénin), un plan d'action de lutte contre la pollution de l'air a été élaboré. Ce plan repose sur des mesures non fiscales telles que les sensibilisations, les contrôles de la police environnementale etc.

## Conclusion

Dans ce chapitre sur la théorie des externalités, nous avons présenté le cadre fondamental de base de la pollution atmosphérique. Cette présentation montre que deux grandes catégories d'externalités sont observées en général. Il s'agit des externalités positives et des externalités négatives. La pollution de l'air s'inscrit dans la dernière catégorie. Ces externalités apparaissent lors des activités de consommation et/ou de production. Ceci justifie le fait que la notion d'externalité a retenu l'attention de beaucoup d'économistes à travers la littérature. Les externalités engendrent des coûts ou des avantages selon les circonstances. Le débat sur la définition des externalités puis les coûts et avantages de celles-ci ont été mis en exergue dans la première section du chapitre. La pollution de l'air comme toute externalité négative, conduit à des coûts non moins importants. Dans une telle condition, les situations économiques dans

lesquelles il y a surtout des externalités négatives, ne sauraient conduire à des décisions publiques efficaces. C'est pour cela que certains moyens sont utilisés, dans une optique de réduire les diverses inefficacités. La seconde section du chapitre s'est penchée sur les différents instruments qui permettent d'internaliser les externalités. Ainsi, les différents instruments économiques et non économiques qui peuvent aider à une réelle internalisation des effets externes, ont été abordés. L'approche néo-institutionnaliste de la gestion des externalités est présentée pour montrer l'importance des coûts de transaction dans l'analyse des effets externes.

Une fois ce cadre théorique sur les externalités présenté, il est utile de se préoccuper spécifiquement de l'externalité de pollution qui se trouve au cœur de cette thèse. Pour cela, le deuxième chapitre de la thèse cherche à détailler le concept de pollution atmosphérique de même que les approches théoriques sur les effets sanitaires de cette externalité de pollution.

# Chapitre 2

## Pollution de l'air : Cadre conceptuel et revue théorique

### Introduction

La pollution de l'air, encore appelée pollution atmosphérique (PA) présente des caractéristiques bien définies. Cette externalité négative est perçue comme un concept important en économie. Il est nécessaire de comprendre comment la PA se caractérise, afin de cerner les conséquences possibles de cette dernière sur les hommes et sur l'environnement. Pour ce faire, nous abordons dans ce deuxième chapitre, le cadre conceptuel général de la PA (la première section), puis une revue théorique sur les conséquences en termes de coûts sanitaires liés à cette nuisance (deuxième section). Dans la première section, il est question de clarifier le concept de PA en lui-même, de préciser les composantes qui la caractérisent de façon générale et en particulier au niveau de la ville de Cotonou. Aussi, est-il présenté les conséquences de cette pollution sur la santé, et mis en exergue des effets sanitaires de cette externalité au sein de la population de Cotonou. La seconde section prend en compte les diverses approches théoriques développées dans la littérature pour faire ressortir les effets sanitaires dus à la PA. Ainsi, un certain nombre de modèles sont abordés pour comprendre le phénomène.

### 2.1 Cadre conceptuel de la pollution atmosphérique

La présentation de ce cadre conceptuel relatif à la pollution atmosphérique (PA), permet de cerner la réalité sur cette externalité. Dans cette section, les caractéristiques de la PA sont abordées dans un cadre général et en particulier à Cotonou. Mais avant, ce que revêt le terme PA est passé en revue.

#### 2.1.1 La Pollution Atmosphérique : concept et Caractéristiques

Avant de parcourir les conséquences générales de la Pollution Atmosphérique ou Pollution de l'Air (PA), il est normal de comprendre les différentes caractéristiques de cette dernière. Ainsi, nous passons d'abord en revue les diverses caractéristiques de la PA ; puis faisons ressortir les conséquences de cette pollution.

##### 2.1.1.1 Le concept de « Pollution Atmosphérique » (PA)

D'après Tattersfield (1996), la PA est définie comme étant « la contamination de l'air par une ou plusieurs substances soit produites à l'état naturel, soit résultant de l'activité humaine, contamination ayant pour conséquence que l'air devient moins acceptable pour le maintien de la santé ». Cette définition est celle admise par Nejjari et al. (2003). Selon cette définition, on comprend que la PA est un dommage créé à l'environnement, précisément à l'air qui perd son état naturel.

La Pollution Atmosphérique peut être perçue comme la présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer une gêne notable pour le confort ou la santé et un dommage aux biens. Donc, l'air est pollué, du fait de sa concentration par diverses substances (polluants) provenant en grande partie des activités humaines. Ces activités constituent les principales sources de la PA. On peut retrouver les activités telles que : la production énergétique thermique, l'industrie, les transports, les activités agricoles, les déchets, les dispositifs de combustion, les êtres vivants (l'annexe 9 présente leurs détails).

La Pollution Atmosphérique est fondamentalement caractérisée par les divers types de polluants émis par les différentes sources. Ainsi, le tableau 2.1 présente quelques sources et les polluants associés.

Tableau 2.1: Principales sources de la PA et les polluants associés

Sources de la PA	Polluants associés
Production énergétique thermique	Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ), Monoxyde de carbone (CO), Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) etc.
Industrie	Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ), Monoxyde de carbone (CO), Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ), Composés Organiques Volatils (COV), Poussières etc.
Transports et automobile	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ), Hydrocarbures, Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) etc.
Activités agricoles	Ammoniac (HN <sub>3</sub> ), Méthane (CH <sub>4</sub> ), Monoxyde de carbone (CO), Produits phytosanitaires etc.
Déchets	Méthane (CH <sub>4</sub> ), Acide chlorhydrique, Métaux lourds etc.

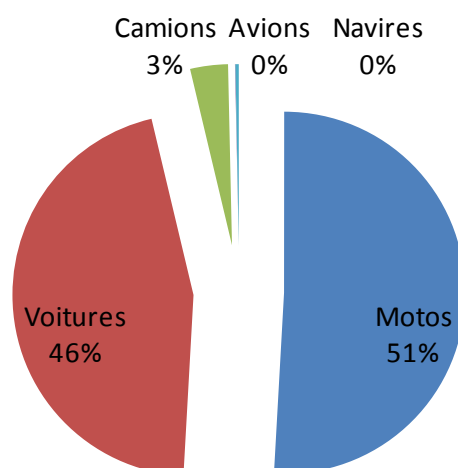
Source : En s'inspirant du PRQA<sup>9</sup> (1999)

### 2.1.1.2 La Pollution Atmosphérique dans la ville de Cotonou

La PA a des caractéristiques bien précises au niveau de la ville de Cotonou. Selon Houéninvo (2000), les polluants issus des activités de transport dans la ville de Cotonou sont, selon leur importance le CO<sub>2</sub>, le CO, les COV, le NO<sub>x</sub>, etc. Une étude du MEHU en 2000 donne les différentes émissions pour l'année 1996. Les niveaux d'émissions pour l'année 1996 sont présentés en annexe 1.1-a.

De ce tableau, on comprend que déjà dans les années 90, les émissions de gaz dans la ville de Cotonou, sont estimées à plusieurs tonnes. La contribution des transports routiers, en particulier celui des motos, constitue la plus importante. Le graphique 2.1 présente cette perception.

Graphique 2.1 : Répartition des émissions de gaz selon les sources à Cotonou en 1996



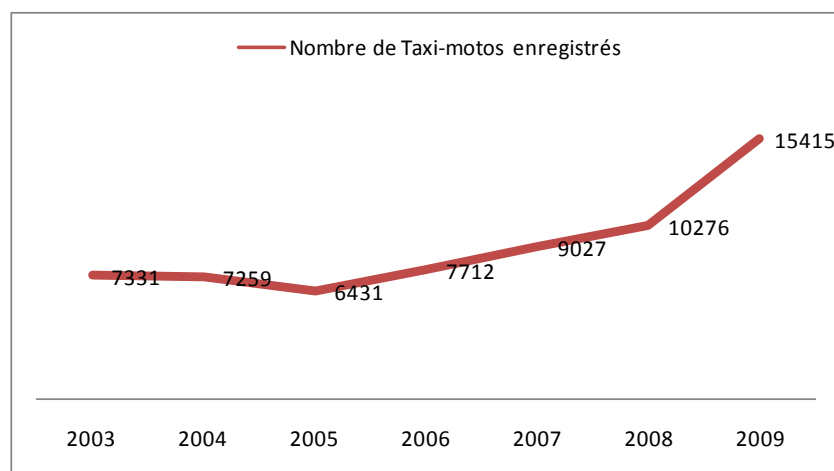
Source : Construction de l'auteur

9 PRQA est le Plan Régional de la Qualité de l'Air établi en France en 1999.

Les contributions des navires et avions sont négligeables (0,29% et 0,04% respectivement) face à celles des autres sources. La plus forte contribution (50,89% soit environ 51%) demeure celle des motos. Cet état de choses justifie les nombreuses raisons pour lesquelles beaucoup de travaux sur la pollution de l'air à Cotonou, se sont focalisés sur le cas des motos (Gbinlo, 1999 ; Houéninvo, 2000 ; Avocè Viagannou, 2002). Ensuite, viennent les voitures avec une contribution de 46% suivies des camions pour une contribution de 3%. Il faut remarquer que ces statistiques n'ont pas fait cas de la contribution des usines; ce qui serait lié au nombre insignifiant d'usines dans la ville ou à la méthodologie de collecte de ces données par le MEHU. L'arrivée des motos à quatre temps renforcée par le projet « Zéco 4 » dans la ville, pourrait atténuer un peu la situation; car la contribution des motos aux rejets de gaz devra diminuer. Toujours est que le niveau de la pollution de l'air dans la ville ne saurait atteindre zéro. Ceci fait que les potentiels effets de cette externalité négative sur la santé humaine, ne sauraient disparaître.

Avec l'activité des taxis « zémidjans » qui ne cesse de se développer, la ville de Cotonou continue de subir les dommages de la pollution de l'air. Malgré les différents efforts des gouvernements et en particulier ceux des autorités municipales, cette activité attire beaucoup d'agents. En se basant sur les statistiques de la mairie de Cotonou (voir annexe 1.1), on obtient le graphique 2.2 qui montre comment le nombre des conducteurs de taxi-moto ne cesse de croître.

**Graphique 2.2 :** Evolution du nombre de taxi-motos inscrits dans Cotonou de 2003 à 2009



*Source : Construction de l'auteur*

Cette tendance que présente le graphique prouve encore une fois que le sous-secteur est attractif en termes d'activité génératrice de revenu pour une importante partie de la population de Cotonou. Le type d'emploi qui est créé grâce à cette activité de conduite de taxi-moto, présente une facilité du point de vue de conditions d'accès. Autrement dit, aucune condition particulière n'est requise pour être conducteur de taxi-moto ; il suffit tout simplement de savoir conduire une moto. Les variétés de marques de motos présentes sur le marché dans la ville de Cotonou, contribueraient en partie à l'évolution croissante du nombre de conducteurs enregistrés annuellement. Donc, avec cette croissance des conducteurs de taxi-moto, en plus des autres moyens de déplacement dans la ville, leur contribution à la pollution de l'air dans cette ville ne saurait tendre vers zéro malgré tous les projets initiés dans ce cadre. Alors, les polluants atmosphériques issus des différents moyens de déplacement dans Cotonou ne sauraient diminuer considérablement.

Il faut noter que tous les divers polluants qui caractérisent la PA ont des conséquences sur la vie animale ou végétale, et précisément sur la santé de l'homme.

Dans la ville de Cotonou, comment les populations perçoivent-elles la pollution de l'air ? La réponse à cette question nous permet d'aborder les points qui suivent.

### 2.1.1.2.1 La qualité perçue de l'air à Cotonou

A ce niveau, il s'agit de voir la perception par les populations de la qualité de l'air dans ladite ville. Pour ce faire, nous nous basons sur les données issues de l'enquête réalisée dans le cadre de cette thèse (le détail sur cette enquête se trouve au chapitre 3 du document). Ainsi, d'après l'annexe 3.2, environ 97,8% des répondants ont reconnu que la ville de Cotonou est polluée contre 2,2% qui la reconnaissent non polluée. Ces statistiques montrent que quelque soit le sexe et quelque soit le niveau d'étude des répondants, l'air dans la ville de Cotonou est perçu comme pollué.

De façon plus précise, nous avons cherché à savoir le niveau de gravité attribué par les répondants à cette pollution de l'air dans la capitale économique. L'annexe 3.3 présente l'examen du niveau de gravité de la pollution de l'air. Ces résultats montrent qu'environ 65,92% des répondants estiment que le niveau de gravité de la pollution de l'air est « très grave » ; 21,40% des chefs de ménage attribue un niveau « grave » ; 9,25% des individus pensent que le niveau de gravité est « modéré ». Le reste des individus estiment que le niveau de gravité est « non préoccupant » (1,37%) et 2,05% ont déclaré ne pas savoir.

Pour comprendre les comportements de choix des répondants pour les niveaux de gravité, il est nécessaire d'analyser les déterminants de ces choix.

### 2.1.1.2.2 Les déterminants des choix du niveau de gravité de la pollution de l'air

L'analyse des déterminants du niveau de gravité de la pollution de l'air, permet de mettre en relation la variable qui représente ce niveau (variable dépendante) avec des variables socioéconomiques explicatives (variables indépendantes).

La variable traduisant le niveau de gravité de la pollution dans la ville de Cotonou (nivgravpoll) est une variable qualitative polytomique dont les modalités vont de 1 à 5 (1 : très grave, 2 : grave, 3 : modéré, 4 : non préoccupant, 5 : ne sait pas). L'annexe 3.3, présente l'examen de cette variable. L'analyse économétrique de cette variable, nous amène à utiliser un modèle logit multinomial. Ce modèle permet une comparaison des catégories (Shawna, R. et S. Shawna, 2010 ; Long et Freese, 2006).

#### — Présentation du modèle logit multinomial

Le modèle logit multinomial est utilisé pour la prédiction des probabilités que le répondant choisisse l'une des catégories de réponses.

Un modèle logit multinomial présume que le répondant choisit la catégorie de réponse qui lui procure le niveau d'utilité le plus élevé  $U_{ij}$  définie par :

$U_{ij} = X_i \beta_j + \varepsilon_{ij}$  ; avec  $i=1, 2 \dots \dots \dots n$  (répondants) ;  $j=1, 2 \dots \dots \dots J$ , les catégories de réponses ;  $X$  est le vecteur de caractéristiques des individus ;  $\beta$  est un vecteur de paramètres ;  $\varepsilon$  est le terme d'erreur dont la distribution est une distribution de valeur extrême de type I. Ainsi, la probabilité que la catégorie de réponse  $k$  soit choisie par le répondant  $i$  est égale à :

$$P(J = k) = \frac{\exp(X_i \beta_k)}{\sum_{j=1}^J \exp(X_i \beta_j)} \quad [M1.1]$$

En normalisant (voir Wooldridge, 2002) cette probabilité s'écrit :

$$P(J = k) = \frac{\exp(X_i \beta_k)}{1 + \sum_{j \neq k} \exp(X_i \beta_j)} \quad [M1.2]$$

---

— *Estimation du modèle et interprétation des résultats*

L'estimation économétrique est faite sous le logiciel STATA 10. Pour ce faire, la catégorie « très grave » est prise comme la catégorie de base. Toutes les variables qualitatives non binaires ont été dichotomisées avant d'être introduites dans le modèle. Pour chacune d'elles, une modalité est prise comme référence. Les résultats de l'estimation du modèle logit multinomial se trouvent à l'annexe 3.4.

L'interprétation des coefficients ne se fait pas directement comme dans le cas des modèles linéaires simples. En cas de dichotomie de la variable, le signe des coefficients donne la précision sur l'augmentation ou la diminution de la probabilité de choix d'une catégorie relativement à celle de référence. Dans le cas des modèles multinomiaux, selon Cahuzac et Bontemps (2008), l'interprétation des coefficients devient beaucoup plus difficile et le recours à une transformation du modèle en « risques relatifs », est suggéré. Ainsi, on estime le modèle précédent avec l'option rrr (relative-risk ratio). Cette option permet d'exponentier les coefficients et de là, l'interprétation des résultats devient plus aisée. Les résultats d'estimation se trouvent en annexe 3.4 (deuxième estimation).

Au regard de ces résultats économétriques, il est important de faire un certain nombre de tests. Ainsi, pour tester la nullité des coefficients pour chaque alternative, le **test de Wald** est recommandé.

### *Test de Wald*

Les résultats relatifs à ce test se présentent en annexe 3.5. Il ressort de ces résultats que globalement les variables introduites dans l'explication des modalités « Grave » et « Modéré », sont significatives [ $\chi^2(14) = 56.66$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0000$ ]<sup>\*\*10</sup> et [ $\chi^2(14) = 37.29$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0007$ ]<sup>\*\*\*</sup>. De plus, l'effet de la variable « profes2 » c'est-à-dire être « zémidjan man », sur le niveau de gravité de la pollution de l'air (nivgravpoll), est significatif [ $\chi^2(3) = 11.80$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0081$ ]<sup>\*\*11</sup>. Il en est de même pour l'effet de la variable « profes5 » soit être d'une « profession libérale », sur le niveau de gravité de la pollution atmosphérique [ $\chi^2(4) = 14.17$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0068$ ]<sup>\*\*</sup>. La variable « niv2 » autrement dit, « avoir un niveau secondaire d'études » est significative dans l'explication du niveau de gravité de la pollution de l'air [ $\chi^2(4) = 9.45$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0508$ ]<sup>\*12</sup>. Enfin, l'effet de la variable « airpollue » signifiant que l'air de la ville est pollué, sur le niveau de gravité de la pollution de l'air, est aussi significatif [ $\chi^2(4) = 263.69$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0000$ ]<sup>\*\*\*</sup>. Le tableau 2.2 présente l'extrait des résultats relatifs aux variables explicatives significatives.

---

10 Significativité à 1%

11 Significativité à 5%

12 Significativité à 10%

Tableau 2.2 : Résultats du logit multinomial relatifs aux variables significatives

Variabes	RRR	Ecart-type
<b>Grave***</b>		
profes2	1,13645**	0,8721
profes5	0,87555**	0,6559
niv2	0,58765*	0,1509
airpollue	1,0949***	0,8982
<b>Modéré***</b>		
profes2	2,061914**	2,6075
profes5	2,3124**	2,8609
niv2	1,6702*	0,6159
airpollue	1,2020***	1,5767
<b>Non préoccupant</b>		
profes2	25735,07	77168,1
profes5	29797,34	86807,59
niv2	4,80.10 <sup>-10</sup>	9,87.10 <sup>-6</sup>
airpollue	9,06.10 <sup>-23</sup>	2,86.10 <sup>-22</sup>
<b>Ne sait pas</b>		
profes2	8,1986	-
profes5	26,6267	36,5110
niv2	2,03.10 <sup>-11</sup>	4,17.10 <sup>-17</sup>
airpollue	6,03.10 <sup>-24</sup>	2,14.10 <sup>-23</sup>
Nombre d'observations : 584 ; LR chi2 (56) : 168,04 ; Prob > chi2 : 0,0000 ; Pseudo R <sup>2</sup> : 0,1493		

\*\*\*significatif à 1% ;

\*\*significatif à 5% ;

\*significatif à 10%

Source : Résultats d'estimation extraits de l'annexe 3.4

### Interprétation des coefficients

Compte tenu des résultats du test de Wald, l'interprétation des coefficients du modèle logit multinomial va s'appesantir sur ceux des variables significatives. Ainsi, le coefficient de la variable dichotomique « profes2 » pour la catégorie Grave peut s'interpréter de la façon suivante : pour un individu qui conduit un taxi-moto « zémidjan », les chances de choisir le niveau Grave représentent environ 114% de celles de choisir le niveau Très grave ; autrement dit il voit ses chances de choisir le niveau Grave augmenter de 14% (1 - 1,14) par rapport à celles de choisir la modalité Très grave. Donc, pour un individu conducteur de taxi-moto, les chances de choisir le niveau Grave sont 0,88 (1/1,14) fois plus faibles que celles de choisir le niveau Très grave.

Pour un individu de même profession (conducteur de taxi-moto), ses chances de choisir la modalité Modéré vont s'augmenter de 106 % (1 - 2,06) par rapport à celles de choisir le niveau Très grave. Alors, un conducteur de taxi-moto trouvera ses chances de choisir le niveau Modéré de 0,5 (1/2,06) fois plus faibles que celles de choisir le niveau Très grave.

En ce qui concerne la variable « profes5 », on peut dire que pour un individu de profession libérale, les chances de choisir le niveau Grave représentent 88% environ de celles de choisir le niveau Très grave. Autrement dit, les chances de choisir la modalité Grave vont diminuer de 12% (1 - 0,88) par rapport à celles de choisir la modalité Très grave. Donc pour un individu de profession libérale, les chances de choisir la modalité Grave sont 1,14 (1/0,88) fois plus élevés que celles de choisir la modalité Très grave. Face à la modalité Modéré, un individu de profession libérale voit ses chances s'augmenter de 131%



(1 – 2,31) par rapport à celles de choisir le niveau Très grave. Donc un individu de profession libérale trouve ses chances de choisir le niveau Modéré de 0,43 (1/2,31) fois plus faibles que celles de voir le niveau Très grave.

*Eu égard à ce qui précède, nous pouvons dire que l'hypothèse H1 est validée. Précisément les professions : « profession libérale » et « conduite de taxi-moto » expliquent significativement le niveau de gravité de la pollution de l'air perçu par la population.*

S'agissant de la variable « niv2 » représentant le niveau d'études secondaire, pour un individu qui a ce niveau d'études, les chances de choisir la modalité Grave représentent 59% de celles du choix de Très grave, c'est-à-dire qu'il voit ses chances de choisir Grave diminuer de 41% (1 – 0,59) par rapport à celles de Très grave. Alors pour un individu ayant un niveau secondaire d'études, la probabilité de percevoir le niveau de pollution Grave est 1,7 (1/0,59) fois plus élevée que celle de choisir Très grave. Pour ce qui est de la modalité Modéré, il faut noter qu'un individu de niveau secondaire voit ses chances de 0,6 (1/1,67) plus faibles que celles de percevoir le niveau Très grave.

En ce qui concerne la variable « airpollue » signifiant que l'air est pollué, un individu qui reconnaît cet état de l'air dans la ville de Cotonou, voit ses chances de choisir la modalité Grave de 0,91 (1/1,1) fois plus faibles que celles de percevoir le niveau Très grave. Lorsqu'il choisit la modalité Modéré, il voit ses chances de 0,83 (1/1,202) fois plus faibles que celles de la perception d'un niveau Très grave.

En testant globalement l'effet des variables sur les modalités Grave et Modéré, on a les résultats à l'annexe 3.5. De l'analyse des résultats de ce test, on trouve que globalement les variables introduites dans le modèle jouent différemment de façon significative sur les modalités Grave et Modéré. On peut donc rejeter l'hypothèse que ces deux catégories sont indissociables ([Prob > chi2] < 0,01).

### ***Test d'indépendance des alternatives non pertinentes (IIA)***

Dans un modèle logit multinomial, l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes est admise. Autrement dit, les rapports de probabilités entre les alternatives sont indépendants et l'ajout ou la suppression d'une alternative ne modifierait pas ces rapports. Sous cette hypothèse d'IIA, on s'attend à ce qu'il n'y ait pas de changements dans les coefficients estimés de façon significative, dès qu'on enlève une alternative. Les résultats dudit test sont présentés en annexe 3.6. Le tableau 2.3 présente un résumé de ces résultats.

Tableau 2.3 : Résultats du test d'IIA de Hausman

Modalités	Chi2 (ddl)	Prob > Chi2	Hypothèse retenue
<b>Très grave</b> en référence			
Ne sait pas omise	0.000 (8)	1.000	H <sub>0</sub>
Non préoccupant omise	0.000 (7)	1.000	H <sub>0</sub>
<b>Grave</b> en référence			
Ne sait pas omise	0.000 (7)	1.000	H <sub>0</sub>
Non préoccupant omise	0.000 (6)	1.000	H <sub>0</sub>
<b>Modéré</b> en référence			
Ne sait pas omise	0.000 (1)	1.000	H <sub>0</sub>
Non préoccupant omise	0.000 (1)	0.9999	H <sub>0</sub>

[H<sub>0</sub>: Hypothèse d'indépendance des alternatives]

Source : Extrait des résultats en annexe 3.6

Dans la conduite de ce test, nous avons enlevé respectivement les alternatives « Non préoccupant » et « Ne sait pas » en variant l'alternative de base, puis réalisé un test de Hausman. D'après les résultats du test, la statistique de chi2 est nul quelque soit le cas de suppression d'alternative envisagé. Donc l'hypothèse de l'IIA est valide, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence significative lorsqu'on retire respectivement les modalités « Non préoccupant » et « Ne sait pas ».

### Effets marginaux

Pour voir l'impact de chaque variable explicative sur la probabilité de choisir la modalité « Très grave », il est nécessaire de faire ressortir les effets marginaux ou élasticités. Les résultats relatifs à ces effets se présentent en annexe 3.7. En se basant sur les variables explicatives significatives, nous avons le tableau 2.4.

Tableau 2.4 : Effets marginaux relatifs aux variables significatives

	profes2	profes5	niv2	airpollue
dy/dx	-0,0636 (-0,00)*	-0,0336 (-0,00)	0,0403 (0,00)	0,7274 (0,00)
Probabilité moyenne prédite	0,72799724			

\*Les valeurs entre parenthèses sont les t-Statistic ;  $y = \Pr(\text{nivgravpoll} = 1)$

Source : Extrait des résultats d'estimation en annexe 3.7

D'après ces résultats, un individu moyen a une probabilité d'environ 73% de choisir la modalité « Très grave ». Pour voir un changement de cette probabilité suite à une variation d'une unité d'une variable explicative (dy/dx), nous avons mis l'accent sur les variables explicatives significatives identifiées ci-dessus. Ainsi, concernant la variable « profes2 », nous pourrions dire que le fait d'être un conducteur de zémidjan a pour conséquence de diminuer de 0,064 la probabilité de choisir la modalité « Très grave ». Autrement dit, si l'individu devient un conducteur de taxi-moto, sa probabilité de choisir la modalité « Très grave » passe de 73% à 66,6%. Pour ce qui est de la variable « profes5 », il se trouve qu'un individu qui entre dans une profession libérale a une probabilité de choisir le niveau « Très grave » qui diminue de 0,034 (passant de 73% à 69,6%). On peut donc comprendre qu'un individu de profession libérale a une plus grande probabilité de choix de la modalité « Très grave » par rapport à un conducteur de zémidjan, du fait que ce dernier mène une activité qui pollue tout en lui procurant de revenu. S'agissant de la variable « niv2 », on constate une augmentation de la probabilité du choix de la modalité « Très grave » de 0,04 lorsqu'un individu est de niveau d'études secondaire par rapport à quelqu'un qui n'est pas de ce niveau d'études (sa probabilité passe de 73% à 77%). Lorsque l'individu considère l'air de la ville de Cotonou comme pollué (variable « airpollue »), sa probabilité de choisir la modalité « Très grave » augmentera de 0,7274 comparativement à ceux qui ne perçoivent pas la pollution de l'air à Cotonou. Donc, il apparaît plus que certain qu'un individu qui perçoit que l'air est pollué, de choisir la modalité « Très grave ». Tous ces résultats traduisent la réalité des faits dans la ville de Cotonou.

Au regard de tout ce qui précède, on peut dire que de façon empirique, la qualité de l'air dans la ville de Cotonou n'est pas du tout bonne. La pollution de l'air dans ladite ville est perçue par les habitants avec un niveau de gravité élevé. Les variables significatives qui déterminent cette gravité sont respectivement : le niveau d'études secondaires, le fait d'être un conducteur de « zémidjan », le fait d'être dans une profession libérale et le fait que l'individu voit que l'air dans la ville est pollué.

Quelles peuvent être les conséquences de cette pollution dans la ville de Cotonou ?

Les différentes conséquences possibles de la PA méritent d'être abordées.

### 2.1.2 Les conséquences générales de la Pollution Atmosphérique

La pollution atmosphérique a beaucoup de conséquences sur l'environnement et sur la santé. Dans la sous-section suivante nous mettons en exergue ces différentes conséquences.

Il est à noter que les produits phytosanitaires (herbicides, insecticides etc.) ont des conséquences néfastes sur les écosystèmes en général. Les immeubles, les monuments, les édifices etc., font partie des éléments qui subissent les effets de la PA. Aussi, tout le patrimoine culturel est –il concerné par les dégradations dues à la PA.

#### 2.1.2.1 Les effets de la PA sur la santé humaine.

Il s'agira pour nous de passer brièvement en revue les effets de la pollution de l'air sur la santé humaine d'une part, et d'autre part d'apprécier les effets de cette pollution sur la santé des populations de Cotonou.

##### 2.1.2.1.1 Les effets de la PA sur la santé : une brève revue

En général, les relations entre l'environnement et la santé sont d'une grande complexité. Pour Gailhard-Rocher et al. (2008), cette complexité est due non seulement au cumul des expositions avec d'autres facteurs de risque ; mais également du fait que ces expositions ont des effets sur le long terme. Une grande diversité spatiale, la proximité d'installations et des activités polluantes jusqu'au niveau planétaire, caractérisent les différents phénomènes de la PA (Roy, 2006). De ce fait, la PA est considérée comme un déterminant important de santé mais très inégalitaire à cause de la variabilité des expositions aux divers polluants (Charles, 2007). Une raison importante qui amène au contrôle des polluants dans l'air tels que les particules ( $PM_{10}$  ou  $PM_{2,5}$ ), le dioxyde de soufre ( $SO_2$ ), est que ces substances ont des effets préjudiciables pour la santé humaine (Cropper et al, 1997). Ces effets sont constitués par l'augmentation des maladies de cœur et du poumon, ainsi que des morts prématurées. Le tableau 2.5 donne une idée de certains de ces effets.

Tableau 2.5 : Quelques effets de la PA sur la santé humaine

Polluants	Effets sur la santé
Particules ( $PM_{10}$ , $PM_{2,5}$ , fumée noire)	Mortalité, morbidité cardio-pulmonaire (admissions hospitalières cérébro-vasculaires, bronchites chroniques, toux chroniques chez les enfants, faibles symptômes respiratoires, toux chez les asthmatiques)
Dioxyde de soufre ( $SO_2$ )	Mortalité, morbidité cardio-pulmonaire (hospitalisation, consultation du Docteur, asthme, congé de maladie, activité restreinte)
Oxydes d'azote ( $NO_x$ )	Morbidité
Oxydes d'azote et Composés Organiques Volatils ( $NO_x$ + VOC)	Mortalité, morbidité (admissions hospitalières pour causes respiratoires, jours d'activité restreinte, crises d'asthme)
Monoxyde de carbone (CO)	Mortalité, morbidité
Mercure (Hg), Plomb (Pb)	Morbidité.

Source : Inspiré du PRQA (1999)

En se basant sur la PA à l'intérieur des habitations, il a été prouvé que cette pollution est responsable de 1,6 million de décès dans le monde, imputables à la pneumonie, aux maladies respiratoires chroniques et au cancer du poumon (OMS, 2005). Ainsi, d'après l'institution (OMS), la PA à l'intérieur des habitations occupe le huitième rang des facteurs de risques les plus importants et est responsable de 2,7% de la charge mondiale de morbidité.

D'une façon générale, les effets de la PA sur la santé humaine sont perçus selon le court terme et/ou le long terme. Suivant le court terme, on distingue les effets sur l'appareil respiratoire et ceux en dehors de l'appareil respiratoire. La PA est responsable de l'augmentation de plusieurs pathologies au niveau des voies respiratoires supérieures à savoir les angines, les rhino-pharyngites, les laryngites, les sinusites etc. Les bronchites, les infections pulmonaires s'observent souvent chez les enfants et les personnes âgées. Au niveau des asthmatiques, la PA accroît la fréquence des crises. Dans certains cas on assiste à des décès prématurés. Nejjari et al. (2003), montraient que les effets de court terme de la PA peuvent être définis comme les manifestations biologiques ou cliniques ou des affections pulmonaires qui se produisent sur plusieurs jours ou semaines après des variations journalières des niveaux de PA.

Dans le cadre du programme PSAS-9<sup>13</sup>, les effets à court terme de la PA ont été analysés par la méthode de modélisation des séries temporelles. A cet effet, pour la mortalité, les excès de risque étaient compris entre 1,2% et 1,9% selon l'indicateur d'exposition ; le gain sanitaire potentiel annuel lié à une réduction de 50% des niveaux moyens de pollution a été estimé à 2.786 décès pour les 9 villes concernées par l'étude (Cassadou et al, 2003). Il est à noter qu'à court terme, chaque polluant a des effets spécifiques et le fait qu'on respire les polluants au même moment, est difficile d'établir la nocivité respective de chacun d'eux. Face à ces effets, les individus les plus vulnérables reconnus par Pascal (2009) sont les personnes âgées, les enfants et les individus qui souffrent d'une maladie chronique (par exemple le cancer des poumons) de même que ceux ayant une situation socio-économique défavorable.

Lors de la Conférence Régionale sur l'Élimination du Plomb dans l'Essence en Afrique Sub-Saharienne tenue à Dakar en 2001, il a été passé en revue un certain nombre de dommages liés à la pollution à l'échelle urbaine et régionale. De même, des polluants à l'échelle mondiale engendrent une série de dommages à la santé publique, aux forêts, aux bâtiments, aux cultures agricoles etc. (WHO, 2000 ; Banque Mondiale, 2001 ; Hecq, 2001).

Il est à noter que récemment, Hunt (2011) a réprécisé effectivement ces effets en indiquant qu'ils vont de problèmes respiratoires non moins importants aux cas de décès par maladies cardio-pulmonaires. La nécessité de considérer les effets de la PA sur la santé demeure d'actualité. Récemment, un rapport sur les « perceptions de la pollution de l'air intérieur en Île-de-France » précise à nouveau les effets de la pollution sur la santé (Grange et al., 2012). Selon ces auteurs, la qualité de l'air intérieur est dégradante du fait des polluants chimiques et biologiques qui s'y trouvent. Ainsi, ils précisent que les pathologies observées habituellement sont : l'asthme, les rhinites, les bronchites etc., et plusieurs de ces manifestations sont de nature allergique (Grange et al., 2012).

Vu cette revue sur les effets sanitaires de la PA, quelle en est de la situation dans la ville de Cotonou ?

### 2.1.2.1.2 Les effets sanitaires de la pollution de l'air à Cotonou

D'après tout ce qui précède, les maladies respiratoires et cardio-vasculaires sont fondamentalement les effets de court terme et les cas de décès relatifs à ces maladies, sont ceux de long terme liés à la PA. Le tableau 2.5 présente le nombre de cas par affections respiratoires et cardio-vasculaires ainsi que le nombre de décès dus à ces affections pour le département du Littoral (Cotonou). D'après ce tableau, les différentes affections respiratoires enregistrées dans la ville de Cotonou de 2000 à 2009,

<sup>13</sup> PSAS-9 est le Programme de Surveillance Air & Santé dans 9 villes en France dont l'objectif est d'estimer et de surveiller les relations exposition-risque entre indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique urbaine et des indicateurs de l'état de santé de la population.

comprennent les Infections Respiratoires Aiguës (IRA) et les autres affections respiratoires. Les IRA sont de deux catégories à savoir<sup>14</sup> : les IRA Hautes et les IRA Basses. Les premières prennent en compte les affections ci-après : *rhume banal, sinusite aiguë, pharyngite aiguë, amygdalite aiguë, trachéite aiguë et otite*. Les deuxièmes regroupent : *les bronchites et bronchiolites aiguës, les pneumonies et la grippe*. Les nombres de cas attribuables aux IRA de toutes catégories, montrent l'occurrence de ces affections au sein de la population de Cotonou. Les chiffres enregistrés par an, relatifs à ces cas, sont d'une importance remarquable. Par exemple, en tenant compte de la population de Cotonou en 2008 qui était d'environ 808.018 habitants (INSAE, 2008), la proportion des individus atteints par les IRA et qui sont enregistrés, est d'environ 9%. Le fait que les chiffres obtenus découlent des consultations dans les centres de santé, cette fréquence augmenterait si tous les cas étaient venus en consultation. En 2010, les IRA enregistrés par département au Bénin montrent effectivement que ces infections constituent toujours un problème aussi important de santé. D'après le Ministère de la santé, les affections respiratoires font partie des problèmes de santé les plus importants. En se basant sur les statistiques sanitaires dudit Ministère, on peut remarquer que les IRA Hautes apparaissent en proportions plus élevées dans les départements du Littoral (20%), et en ce qui concerne les IRA Basses, on note une proportion de 16% par rapport à l'ensemble du pays.

Tableau 2.6 : Nombre de cas et de décès par affections respiratoires et cardio-vasculaires de 2000 à 2009 dans la ville de Cotonou

AFFECTIONS		IRA Hautes	IRA Basses	Total IRA	Autres Affections Respiratoires	Affections cardio-vasculaire
2000	Cas	31.439	25.553	56.992	ND <sup>1</sup>	6.999
	Décès	1	1	2	ND	2
2001	Cas	27.080	26.681	53.761	1.472	4.819
	Décès	0	4	4	0	1
2002	Cas	27.801	38.315	66.116	2.939	3.659
	Décès	0	2	2	0	8
2003	Cas	30.529	37.974	68.503	ND	ND
	Décès	ND	ND	ND	ND	ND
2004	Cas	33.378	39.426	72.804	5.588	1.711
	Décès	0	1	1	8	11
2005	Cas	26.229	28.991	55.220	4.399	1.469
	Décès	1	0	1	21	19
2006	Cas	30.359	29.912	60.271	5.322	1.904
	Décès	1	7	8	25	32
2007	Cas	44.118	42.854	86.972	5.949	2.090
	Décès	1	1	2	20	27
2008	Cas	36.781	31.513	68.294	6.073	1.971
	Décès	2	8	10	29	62
2009	Cas	29.661	25.122	54.783	4.049	2.351
	Décès	1	21	22	34	38

Source : Extrait de SNIGS/SSD/DPP/MS, 2000 à 2009

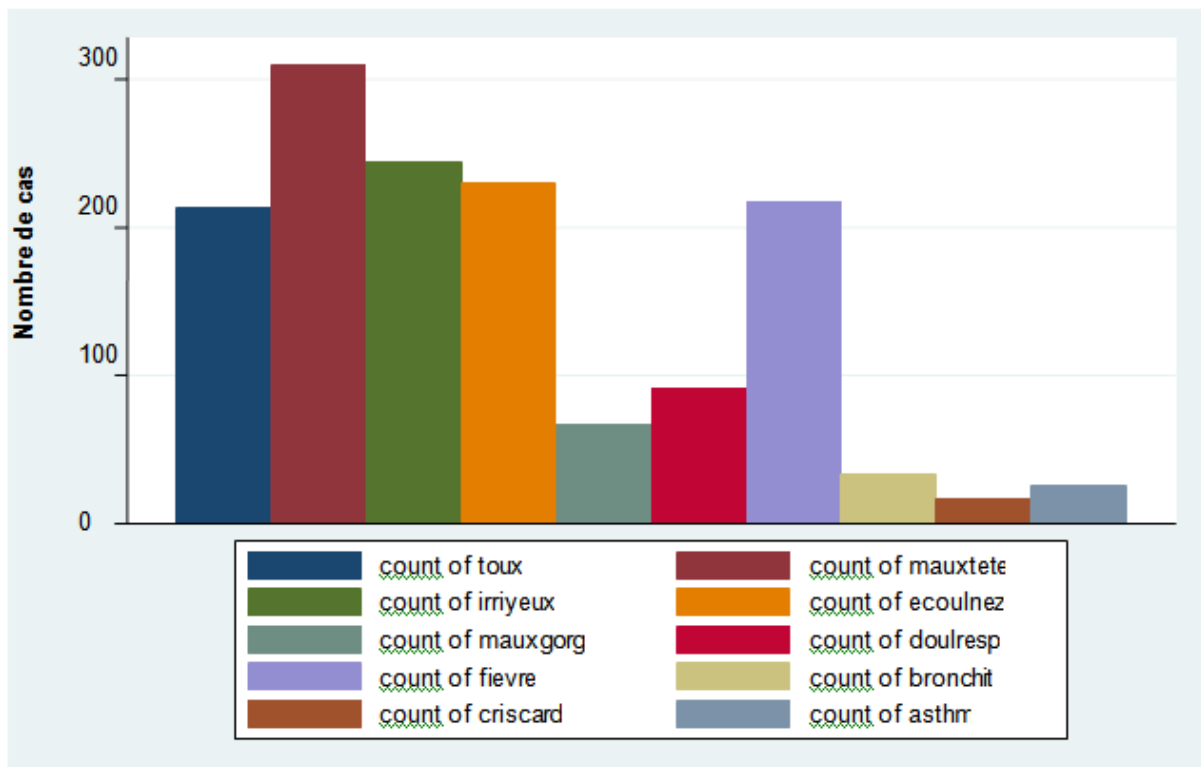
Le traitement des différents cas d'affections venus en consultation ou non, genre d'importants coûts. Dans le cas d'une consultation avec hospitalisation, les coûts seraient énormes. D'importants coûts sanitaires résulteraient des effets de la pollution de l'air. Mais du point de vue empirique, comment se présente la situation au sein de la ville de Cotonou ?

<sup>14</sup> Cette catégorisation est faite dans les annuaires des statistiques sanitaires du Ministère de la santé du Bénin, ainsi que la composition de chaque catégorie.

*Situation empirique*

L'enquête qui est réalisée au sein de la population de Cotonou, dont la méthodologie est détaillée dans le troisième chapitre du document, montre un certain nombre de maladies ou symptômes qui ont été révélés par les répondants. Les maladies abordées dans le questionnaire d'enquête se présentent en annexe 3.8. Le graphique 2.3 réalisé à partir de nos données, illustre les nombres de cas déclarés par les répondants pour ces maladies ou symptômes.

Graphique 2.3 : Répartition des répondants par maladie déclarée



Source : Construction de l'auteur à partir des données d'enquête

Les différentes variables ici sont : la toux (toux), les maux de tête (mauxtete), les irritations d'yeux (irriyeux), l'écoulement du nez (ecoulnetz), les maux de gorge (mauxgorg), les douleurs respiratoires (doulesp), la fièvre (fièvre), les bronchites (bronchit), les crises cardiaques (criscard) et l'asthme (asthm). De l'analyse de ces résultats, on note que les individus enquêtés ont déclaré avoir souffert de plusieurs maladies deux mois avant l'administration du questionnaire. D'après l'annexe 4.11, 72% environ des répondants ont reconnu avoir souffert de l'une des maladies évoquées (420 répondants). Les résultats de l'annexe 3.8 indiquent que certains individus ont déclaré avoir souffert de plusieurs maux à la fois. Les maux de tête viennent en première place (53%), suivent les irritations des yeux (42%) et les écoulements de nez (39%). La fièvre (37%) et la toux (36%) viennent en quatrième et cinquième positions. Les douleurs respiratoires (16%) et les maux de gorge (11%) occupent, la sixième et la septième, places. Viennent enfin les bronchites (6%), l'asthme (4%) et les crises cardiaques (3%). Ces résultats confirment la tendance observée dans le tableau 2.5, selon laquelle les affections respiratoires ou Infections Respiratoires Aiguës, prennent la première place devant les affections cardiaques.

De plus, il faut noter que nous avons approfondi l'exercice de recherche des maladies dont les répondants ont souffert. Ainsi, il a été demandé aux répondants de préciser la maladie la plus gênante dont ils ont souffert. Pour ce faire, l'examen des variables relatives aux maladies les plus gênantes, se présente en annexe 4.10. Ainsi, sur les 420 individus qui ont déclaré une maladie gênante, 20% ont porté leur choix sur la fièvre; 18% ont déclaré l'écoulement de nez comme maladie gênante ; 17% ont choisi les

maux de tête ; 16% ont fait le choix de l'irritation des yeux ; 13% des répondants ont choisi la toux comme maladie la plus gênante ; 5% ont choisi les douleurs respiratoires ; 4% ont porté leur choix sur les maux de gorge ; 3% ont déclaré l'asthme comme maladie la plus gênante ; 2% des choix portent sur les bronchites et 2% des répondants ont choisi la crise cardiaque.

En définitive, la théorie qui postule que les maladies causées par la pollution de l'air sont respiratoires et cardio-vasculaires, vient de se confirmer. Toutes choses étant égales par ailleurs, on peut conclure sans se tromper que la PA contribue fortement à l'apparition accrue des maladies respiratoires et cardio-vasculaires.

Dans les conditions actuelles de la ville de Cotonou, les populations enquêtées ont pour la plupart reconnu être gênées par la pollution de l'air. Ainsi, d'après l'annexe 3.9, environ 95% des individus ont reconnu que la PA est gênante contre 5% qui ne ressentent pas cette gêne. Mais il faut noter que 69% à peu près des répondants prennent des précautions face à la PA contre 31% qui ne s'en préoccupent pas du tout malgré que certains d'entre eux soient gênés. Les précautions prises par les individus sont retracées en annexe 3.10. Certains portent des lunettes (45%) ou des cache-nez (30%); d'autres consomment des produits pour se désintoxiquer (29%); d'autres également choisissent des itinéraires dans leur déplacement (11%) ou des horaires pour se déplacer (10%); enfin certains se déplacent dans des voitures climatisées (4%) ou font usage de climatisation au service (4%). Ces chiffres montrent que certains répondants prennent plusieurs mesures à la fois. Ces différentes mesures prises par les populations ne sauront être sans incidence financière. La consommation des produits de désintoxication, l'usage de climatisation etc. engendrerait d'importants coûts.

D'après la littérature, comment les coûts relatifs aux effets de la PA sont-ils abordés ?

La seconde section présente une revue théorique sur la question.

## **2.2 Revue théorique sur les coûts sanitaires dus à la pollution de l'air**

Selon la littérature, les effets de la pollution atmosphérique abordés sont de deux catégories : les effets sur la morbidité et les effets sur la mortalité. Tous ces effets engendrent d'importants coûts sur le plan de la santé humaine. Dans la présente section, il est présenté d'une part les approches théoriques relatives à la morbidité et d'autre part celles relatives aux effets sur la mortalité.

### **2.2.1 La morbidité liée à la pollution de l'air : une revue théorique**

Plusieurs auteurs ont analysé les impacts de la pollution de l'air sur la santé de diverses manières. Sur le plan théorique, la plupart d'entre eux ont élaboré des modèles d'analyse de la situation. Dans cette sous-section une présentation d'un certain nombre de ces modèles, est faite.

#### **2.2.1.1 Le modèle d'Alberini et al (1997)**

Alberini et al. (1997) ont mené une étude d'évaluation des effets de la pollution de l'air sur la santé dans les pays en développement, précisément le cas du Taïwan. Pour ce faire, une enquête d'évaluation contingente (EC) a été conduite afin d'avoir les Consentement A Payer (CAP) permettant d'éviter une récurrence des épisodes de maladies respiratoires aiguës. Ils ont ainsi estimé un modèle dans lequel le CAP dépend des attributs de la maladie (durée et nombre des symptômes, la nature de la maladie) et des caractéristiques du répondant telles que le revenu, l'histoire sanitaire, etc. Ils comparent le CAP des ménages taïwanais aux extrapolations de transfert de bénéfices qui ajustent le CAP des Etats-Unis par le revenu d'un ménage taïwanais, relatif au revenu d'un ménage américain. Les auteurs ont développé un modèle formel de CAP pour la réduction de la pollution de l'air. Afin d'éviter la maladie due à la pollution de l'air, ces auteurs montrent que le CAP peut être développé dans un contexte du modèle de

production de ménage. Le modèle se présente de la façon suivante :

On suppose que la fonction d'utilité dépend d'un certain nombre de variables à savoir : - les biens consommés (X)- le temps de loisir (L)- la désutilité liée à la durée de la maladie (D)- la sévérité de la maladie (S).

Soit  $I = D \cdot S$ , désignant un indice de la maladie, qui représente la quantité de maladie éprouvée. La désutilité dépend aussi de la nature de la maladie (N). On désigne par Z, le vecteur des caractéristiques individuelles, qui affectent la désutilité causée par I et N, aussi bien que l'utilité obtenue de X, L et Z.

Ainsi, la fonction d'utilité considérée est:

$$U = U(X, L, I, N, Z) \quad [E1.1]$$

On suppose que la durée de la maladie respiratoire (D) dépend de la pollution de l'air (P), de la nature de la maladie (N) et d'une mesure exogène de la sévérité (E).

La variable E, indique comment la nature (N) d'une personne est mauvaise avant que n'importe quelle chose soit faite pour soulager ses symptômes. S, mesure la sévérité de la maladie après avoir atténué le comportement (M) qui indique le médicament pris et le traitement médical reçu. Alors, on a :

$$I(P, N, M, E) = D(P, N, E) \cdot S(M, E) \quad [E1.2]$$

La quantité de la maladie (I) entre aussi dans la contrainte budgétaire du ménage, en influençant le montant du temps productif disponible pour le travail. La contrainte budgétaire est donc :

$$Y + w(T - L - I) = p_X X + p_M M \quad [E1.3]$$

Dans cette équation [E1.3], Y est le revenu non salarié, w est le taux de salaire, T est le temps total, le terme entre parenthèses désigne le temps de travail,  $p_X$  et  $p_M$  sont des prix. Le modèle de production de la santé suppose que l'individu alloue son temps entre le travail et le loisir ; et son revenu entre le médicament et les autres biens pour maximiser son utilité sous contrainte du budget définie par l'équation [E1.3].

On considère une politique qui affectera les niveaux de pollution de l'air, donc le montant de temps est possible que l'individu éprouve la maladie respiratoire.

Si nous demandons ce qu'il vaudrait à l'individu pour réduire la pollution de l'air, ce serait le montant d'argent que nous pourrions prendre chez lui en réduisant la pollution et en gardant son utilité constante. Compte tenu de la relation entre la pollution de l'air et la durée de la maladie, cependant, on peut traduire la variation dans la pollution de l'air par une variation équivalente dans D et évaluer le CAP pour la variation dans D. En fait, la valeur d'un changement non marginal dans D serait définie en utilisant une fonction donnée de dépense (Cropper et Freeman, 1991). C'est la valeur minimale de dépense moins le revenu salarié nécessaire pour garder l'utilité à  $U^0$ . Soit on a :

$$E = \min \{ p_X X + p_M M - w(T - L - D \cdot S) + \lambda [U^0 - U(X, L, D \cdot S, N, Z)] \} \quad [E1.4]$$

où  $\lambda$  est le multiplicateur de Lagrange. Le CAP pour une variation non marginale dans D, pourrait être défini, en utilisant l'équation précédente, comme la dépense nécessaire d'atteindre  $U^0$  à la durée originale de la maladie  $D^0$ , moins la dépense nécessaire pour atteindre  $U^0$  à la nouvelle durée de la maladie,  $D^1$ . Ainsi, on a :

$$CAP = E(p_X, p_M, Y, w, N, S, Z, D^0, U^0) - E(p_X, p_M, Y, w, N, S, Z, D^1, U^0) \quad [E1.5]$$



Cette équation implique que le CAP varierait avec le revenu, les prix, les caractéristiques individuelles, la nature de la maladie, et sa sévérité,  $D^0$  et  $D^1$ .

### 2.2.1.2 Le modèle de Currie et al (2009)

Currie et al (2009), dans leur étude, ont examiné l'impact de trois critères de polluants de l'air sur la santé des enfants en combinant les informations relatives aux localisations résidentielles des mères provenant des certificats de naissance, avec les informations issues des contrôleurs de la qualité de l'air. Leur travail offre trois innovations importantes. D'abord, les auteurs ont utilisé les adresses exactes des mères pour sélectionner celles qui sont plus près des contrôleurs de la qualité de l'air pour avoir une plus grande précision sur les informations à collecter. Ensuite, ils ont inclus les effets maternels fixes pour contrôler les caractéristiques inobservables des mères. Enfin, ils ont examiné les interactions de la pollution de l'air avec le fait de fumer et d'autres facteurs de risque pour les résultats sanitaires des pauvres enfants. Ils ont obtenu des effets systématiquement négatifs de l'exposition au monoxyde de carbone (CO), pendant et après la naissance, avec des effets considérablement plus forts pour les fumeurs et les mères âgées. Selon eux, depuis que les automobiles sont les principales sources des émissions du CO, leurs résultats ont des implications importantes pour la régulation des émissions automobiles. Pour les auteurs, la pollution de l'air peut affecter les enfants différemment, avant et après la naissance. Avant la naissance, la pollution affecte l'enfant par l'intermédiaire de la mère à travers le placenta. Après la naissance, les enfants inhalent directement les polluants. De ce fait, Currie et al (2009) ont procédé de deux manières dans leur approche. Premièrement, ils ont examiné les effets de la pollution sur la santé à la naissance, mesurés par le poids de l'enfant à la naissance et la grossesse. Deuxièmement, ils ont examiné l'effet de la pollution sur la mortalité infantile conditionnellement à la santé à la naissance.

Dans le cadre de l'examen des effets de la pollution sur la morbidité infantile, les résultats à la naissance ont été modélisés. Pour cela, les auteurs ont réduit l'échantillon aux femmes qui habitent à 10 km d'un contrôleur de pollution et ont estimé les modèles de base de la façon suivante :

$$O_{ijmt} = \sum_{s=1}^3 (P_{mt}^s \beta^s + w_{mt}^s \gamma^s) + X_{ijmt} \delta + Y_t + \varepsilon_{ijmt} \quad [E2.1]$$

Avec O qui est le résultat à la naissance, les indices i, j, m et t représentent respectivement l'individu, la mère, le contrôleur le plus proche, et les périodes de temps. Le vecteur  $P_{mt}$  contient les mesures des niveaux de la pollution ambiante dans chacun des premier, deuxième et troisième trimestres de grossesse de la mère, noté par s, en utilisant les contrôleurs qui sont plus près de la résidence de la mère. Les mesures trimestrielles ont été construites en prenant la moyenne des mesures de pollution à travers le trimestre ; donc  $\beta^s$  reflète l'effet d'une variation dans les niveaux moyens de pollution pour le trimestre s.  $w_{mt}$  représente la précipitation journalière, le maximum et le minimum journaliers de la température moyenne sur chaque trimestre de la grossesse. Le vecteur  $X_{ijmt}$  inclut les caractéristiques spécifiques de l'enfant et de la mère selon le certificat de naissance, qui paraissent être des déterminants significatifs des résultats de la naissance. La variable  $Y_t$  inclut les « dummy » variables pour capter les effets saisonniers mensuels et annuels. Une limite de ce modèle, est la corrélation de l'exposition à la pollution avec les caractéristiques omises des familles qui sont en relation avec la santé de l'enfant. La prise en compte de ces variables omises fait que le modèle devient :

$$O_{ijmt} = \sum_{s=1}^3 (P_{mt}^s \beta^s + w_{mt}^s \gamma^s) + X_{ijmt} \delta + Y_t + \varphi_{mt} \cdot Q_t + \varepsilon_{ijmt} \quad [E2.2]$$

Où  $\varphi_{mt}$  est un effet fixe pour le contrôleur de la pollution de l'air et  $\varphi_{mt} \cdot Q_t$  désigne l'interaction entre l'effet du contrôleur et le quart de l'année. Dans cette spécification, les auteurs comparent les résultats des enfants qui vivent à proximité les uns des autres et qui sont nés dans le même quart d'année pour capturer les caractéristiques moyennes de voisinage à travers une saison.

Le modèle [E2.2], continue de souffrir d'un biais lié aux variables omises, précisément les caractéristiques inobservables des mères. Alors, les auteurs ont abouti à la spécification suivante :

$$O_{ijmt} = \sum_{s=1}^3 (P_{mt}^s \beta^s + w_{mt}^s \gamma^s) + X_{ijmt} \delta + Y_t + \varphi_{mt} \cdot Q_t + \zeta_j + \varepsilon_{ijmt} \quad [E2.3]$$

où  $\zeta_j$  est l'effet fixe spécifique d'une mère.

Les données sur la pollution atmosphérique utilisées par Currie et al (2009), proviennent du département de la protection de l'environnement de New Jersey. Les données relatives aux naissances et aux décès des enfants, proviennent du département de la santé des naissances et des décès infantiles à New Jersey de 1989 à 2003. Les auteurs aboutissent à la conclusion que le CO du troisième trimestre a des effets significatifs négatifs sur la santé infantile dans toutes les spécifications, avec l'effet estimé augmentant progressivement. Par contre, les effets estimés pour l'ozone et les  $PM_{10}$  sont inconsistants à travers les spécifications, sans aucune significativité à un niveau de 95% dans les modèles qui contrôlent les effets fixes des mères. Une augmentation d'une unité du niveau moyen de CO durant le dernier trimestre, réduirait le poids moyen à la naissance de 16,65g. En plus, une variation d'une unité en CO moyen, est estimée réduire la durée de la grossesse de 0,074 semaine. Pour Currie et al (2009), de l'ensemble de leurs résultats, le plus important et consistant montre que le CO a des effets négatifs sur la santé infantile avant et après la naissance. Pour évaluer l'impact des récentes baisses de CO à travers les Etats-Unis, les auteurs ont procédé par plusieurs calculs. Ils aboutissent finalement à une augmentation en salaire estimée pour l'ensemble du pays à 720 millions \$ pour la cohorte de naissance de 2003, liée au fait que les niveaux de CO ont baissé depuis 1989. Cela prouve qu'il y a des bénéfices substantiels qu'on peut tirer de l'amélioration des émissions de CO à travers le temps. Autrement dit, l'on subit beaucoup de coûts de ces émissions dans une situation sans réglementation.

### 2.2.1.3 Le modèle de Cropper (1981)

Cropper (1981) présente dans son papier un modèle de prévention des soins de santé et utilise le modèle pour définir ce que chaque personne paierait pour une variation de la qualité de l'air. Ainsi, il développe un modèle d'investissement en santé.

Pour l'auteur, l'essence de l'approche « capital humain » pour la santé est que chaque individu est doté d'un stock de capital «santé»  $H$ , lequel mesure sa résistance à la maladie. Ce stock peut augmenter en combinant le temps  $TH_t$  avec les biens achetés  $M_t$ , pour produire l'investissement en santé par la relation :

$$I_t = TH_t^{1-\zeta} M_t^\zeta E_{1t}^{\xi_1} \dots \dots E_{nt}^{\xi_n} \quad [E3.1]$$

Les outputs de cette équation incluent l'exercice, le repos et la nourriture. Ceux-ci seraient affectés par des facteurs tels que la connaissance individuelle sur la santé ou la présence d'une maladie chronique désignée par  $E_{1t} \dots \dots E_{nt}$  dans l'équation [E3.1]. En simplifiant, l'auteur suppose que l'investissement expose des rendements d'échelle constants, donc que le coût marginal de l'investissement est constant et indépendant de  $I_t$ . Ce coût noté  $\pi_t$  est défini par :

$$\pi_t = W_t^{1-\zeta} P M_t^\zeta E_{1t}^{-\xi_1} \dots \dots E_{nt}^{-\xi_n} \quad [E3.2]$$

Le coût marginal d'investissement  $\pi_t$ , est une fonction des prix des biens achetés  $P M_t$  et du salaire  $W_t$ . L'investissement en santé augmente le stock individuel de santé selon la relation :

$$dH_t / dt = I_t - \delta_t H_t \quad [E3.3]$$

Donc, le capital «santé» aussi se détériore à un taux proportionnel  $\delta_t$  depuis que la résistance à la

maladie déclinerait si aucun investissement en santé n'a été fait. Cropper précise que le motif principal pour investir en santé est que le capital «santé» affecte la durée de la maladie  $TL_t$ . La relation discontinue entre  $TL_t$  et  $H_t$  est supposée être :

$$\ln TL_t = \gamma - \alpha \ln H_t \quad \alpha > 0 \quad [E3.4]$$

Cette équation implique selon l'auteur que la durée passée dans la maladie peut être arbitrairement petite, mais non nulle. Pendant que les équations [E3.3] et [E3.4] suggèrent que le modèle est approprié à la morbidité aiguë, elles ne pourraient pas être appliquées à la morbidité chronique. Dans l'équation [E3.4], une réduction du stock de santé augmente le temps passé dans la maladie, cependant être malade en un temps donné ne réduit pas le stock de santé dans le temps d'après. Cela est raisonnable seulement si  $TL_t$  se réfère aux maladies aiguës telles que le rhume et la grippe. Pour des raisons de simplification du modèle afin d'estimer le CAP, l'équation [E3.4] est supposée être le seul motif pour investir en santé. Cela réduit la santé à un bien d'investissement pur et implique que le seul effet de la santé sur l'utilité est à travers la contrainte budgétaire. Ainsi, la décision d'investir en santé peut être séparée de celle d'acheter d'autres biens. D'abord, un sentier d'investissement en santé est choisi pour maximiser  $R$ , la valeur présente du revenu total net du coût de l'investissement, alors l'utilité est maximisée pour donner  $R$ . Dans le modèle actuel, le revenu total est la valeur de marché du temps de bonne santé de chaque individu.

Si  $\Omega$  est le temps total disponible à  $t$ , alors  $h_t = \Omega - TL_t$  est le temps de bonne santé. Donc la valeur présente du revenu total net du coût d'investissement en santé peut s'écrire :

$$\int_0^T (W_t h_t - \pi_t I_t) e^{-rt} dt \quad [E3.5]$$

Où  $T$  est la durée de vie. Le problème est de choisir le sentier d'investissement correspondant à la résolution du programme suivant :

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{H_t} \int_0^T (W_t h_t - \pi_t I_t) e^{-rt} dt \\ & S/C \begin{cases} dH_t / dt = I_t - \delta_t H_t \\ \ln TL_t = \gamma - \alpha \ln H_t \end{cases} \quad \alpha > 0 \end{aligned}$$

Si le coût marginal de l'investissement est constant, la solution est simple c'est-à-dire que l'individu choisi à chaque instant un niveau optimal de résistance  $H_t^*$  et détermine alors le montant à investir en santé à partir de [E3.3]. L'égalité ci-après permet de déterminer le stock optimal de santé :

$$W_t \frac{\partial h_t}{\partial H_t} = \pi_t \left( r + \delta - \frac{d\pi_t}{dt} \frac{1}{\pi_t} \right) \quad [E3.6]$$

Il s'agit de l'égalisation entre la valeur du produit marginal du capital «santé» et de son prix d'offre. En substituant cette égalité dans [E3.4], on obtient le stock optimal de santé qui peut s'écrire :

$$\ln H_t^* = \frac{1}{1+\alpha} (\gamma + \ln \alpha + \ln W_t - \ln \pi_t - \ln \delta_t) \quad [E3.7]$$

En posant  $\beta = \gamma + \ln \alpha$ , le temps passé dans la maladie est donné par :

$$\ln TL_t^* = \gamma - \frac{\alpha}{1+\alpha} (\beta + \ln W_t - \ln \pi_t - \ln \delta_t) \quad [E3.8]$$

La pollution peut être intégrée dans le modèle de plusieurs manières. Dans les environnements pollués, les individus sont souvent plus malades, ce qui signifie que la pollution peut être intégrée dans l'équation [E3.4] avec un coefficient positif. Cela implique que deux individus de même stock de santé ne sont pas réellement égaux du point de vue état de bonne santé. Il est préférable de supposer que la pollution modifie physiquement l'état de santé d'une personne. Cela peut être accompli en faisant du taux de déchéance du capital de santé une fonction de la pollution  $P_t$  :

$$\delta_t = \delta_0 e^{\bar{\delta}_t} P_t^\psi S_t^\phi \quad [E3.9]$$

Cette équation implique selon l'auteur, que le taux de déchéance du capital de santé varie avec l'âge et avec d'autres facteurs ( $S_t$ ) tels que le stress ou la pollution au travail. On considère une petite réduction de la pollution à la date  $t$ . Depuis qu'une variation en  $P_t$  affecte le revenu net seulement à la période  $t$ , la valeur d'un petit pourcentage de variation en  $P_t$  est définie comme :

$$-\frac{dR}{dP_t} P_t = \left( \frac{d \ln TL_t}{d \ln P_t} W_t TL_t + \frac{dI_t}{dP_t} \pi_t P_t \right) e^{-rt} \quad [E3.10]$$

Réduire la pollution, entraîne une augmentation du stock optimal de santé lequel à travers  $[E3.3]$  augmente  $I_t$ . Une réduction de  $P_t$ , cependant, réduit aussi  $\delta_t$  lequel baisse le gros investissement nécessaire pour maintenir un stock de santé donné. Pour les formes fonctionnelles ci-dessus, l'effet net de ces facteurs est positif, impliquant qu'une réduction de la pollution de l'air, réduit les ressources consacrées au soin de santé préventive, et de là augmente le CAP :

$$\begin{aligned} -\frac{dR}{dP_t} P_t &= \left( \frac{\alpha \psi}{1+\alpha} W_t TL_t + \frac{\alpha \psi}{1+\alpha} \pi_t \delta_t H_t^* \right) e^{-rt} \\ &= 2 \frac{\alpha \psi}{1+\alpha} W_t TL_t e^{-rt} \end{aligned} \quad [E3.11]$$

Cropper (1981) montre qu'en comparant cette équation à la mesure des bénéfices obtenus sous l'approche de la fonction de dommage, il est clair que la dernière minimise le CAP.

Afin de donner une idée des coûts de morbidité due à la pollution de l'air, Cropper (1981) a estimé l'équation  $[E3.10]$  en se basant sur les données de « Michigan Panel Study of Income Dynamics ». Alors le modèle d'estimation du CAP retenu est un modèle Tobit du fait que beaucoup de personnes ont reporté zéro jour de maladie chaque année. Le modèle se présente comme suit :

$$\begin{aligned} \ln TL_{it} &= \text{non défini si } X'_{it} B + \mu_{it} \leq 0 \\ \ln TL_{it} &= X'_{it} B + \mu_{it} \quad \text{si } X'_{it} B + \mu_{it} > 0 \end{aligned} \quad [E3.12]$$

où  $X_t = (\ln PM_t, \ln E_{1t}, \dots, \ln E_{nt}, \ln P_t, \ln S_t, \ln W_t, t)$

$$B' = \alpha(1+\alpha)^{-1} (\text{constant } 1-\zeta, -\xi_1, \dots, -\xi_n, \psi\phi, -(1-\zeta)\bar{\delta})$$

et  $\mu_{it} \rightarrow N(0, \sigma^2)$  pour tout  $t$ . L'estimation de  $[E3.12]$  a été faite par maximum de vraisemblance. Les individus pris en compte dans cette étude sont âgés de 18 à 45 ans. Pour l'estimation du CAP, il a été considéré les mesures géométriques annuelles moyennes du dioxyde de soufre lequel a des liens avec la maladie aiguë dans les études épidémiologiques.

Le montant qu'un individu serait prêt à payer pour une réduction de  $x\%$  de pollution, d'après l'équation  $[E3.11]$  est :

$$2(x/100) \frac{d \ln TL_t}{d \ln P_t} W_t TL_t \quad [E3.13]$$

Cette relation implique qu'une personne moyenne dans l'échantillon de 1976, et qui gagne 6 \$ par heure, serait prêt à payer 7,20 \$ annuellement pour une réduction de 10% de la moyenne du  $SO_2$ . Au contraire selon l'auteur, l'approche de la fonction de dommage, mettrait la valeur d'une réduction de 10% de la pollution à 3,60 \$ seulement. Cropper précise que dans une ville où il y a un million de personnes principalement âgées, cela minimiserait la valeur d'une réduction de 10% de la pollution de l'air, de 3.600.000 \$ annuellement. Pour lui, en ignorant les ajustements de pollution, cela pourrait minimiser considérablement la valeur d'une amélioration de la qualité de l'air.

### 2.2.1.4 Le modèle de Viscusi et Gayer (2005)

Dans le vingtième chapitre de leur *Handbook of Environmental Economics*, Viscusi et Gayer (2005) ont montré comment le risque de morbidité peut être évalué. Ils ont à cet effet examiné la relation entre l'approche du coût de la maladie et celle du CAP. D'autres auteurs avaient déjà fait cette comparaison (Harrington and Portney, 1987 ; Freeman, 1993). Ces travaux constituent la base de la discussion de Viscusi et Gayer. Alors on a :

La fonction de production de santé qui postule que le nombre de jours de maladie d'un individu,  $s$  est une fonction de variable exogène de la pollution ( $\gamma$ ). Ce nombre est aussi fonction du comportement détournant pris par l'individu ( $a$ ), aussi bien que le comportement atténuant que l'individu prend ( $m$ ). Par exemple dans le cas de la pollution de l'air, un individu peut détourner l'exposition en restant souvent plus à la maison ou en achetant un outil de filtration de l'air. Un individu pourrait atténuer les effets de la pollution en se rendant régulièrement chez un médecin quand il est affecté par une maladie respiratoire. Donc la fonction de production de santé est définie comme :

$$s = s(a, m, \gamma) \quad [E4.1]$$

$$\text{avec } \frac{\partial s}{\partial a} < 0, \frac{\partial s}{\partial m} < 0 \text{ et } \frac{\partial s}{\partial \gamma} > 0.$$

Un individu tire son utilité d'un bien numéraire,  $X$  et du temps de loisir,  $T_L$  ; puis il tire une désutilité des jours de maladie. Le temps total disponible est noté  $T$ . Un individu reçoit  $Y$  dollars comme revenu non salarié, le taux de salaire est  $w$ , et il paye respectivement les prix  $p_a$  et  $p_m$  par unité du comportement détournant et du comportement atténuant. Le Lagrangien du problème d'optimisation de l'individu est :

$$L(X, T_L, a, m) = u[X, T_L, s(a, m, \gamma)] + \lambda[Y + w(T - T_L - s(a, m, \gamma)) - X - p_a a - p_m m] \quad [E4.2]$$

Les Conditions du Premier Ordre (CPO) se présentent ci-après :

$$\begin{cases} \frac{\partial L(\cdot)}{\partial X} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial u}{\partial X} = \lambda \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial T_L} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial u}{\partial T_L} = w\lambda \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial a} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial u}{\partial s} = w\lambda + \lambda \frac{p_a}{\partial s / \partial a} \\ \frac{\partial L(\cdot)}{\partial m} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial u}{\partial s} = w\lambda + \lambda \frac{p_m}{\partial s / \partial m} \end{cases} \quad [E4.3]$$

Il s'agit ici d'estimer le CAP d'un individu pour une réduction de la pollution  $\gamma$ . Pour cela les auteurs ont utilisé la fonction d'utilité indirecte  $V$  qui est l'utilité maximale obtenue pour un ensemble de valeurs des paramètres. Le CAP pour une réduction du risque de morbidité, est la réduction du revenu non salarié ( $Y$ ) qui laisse constante l'utilité indirecte. En prenant la dérivée totale de  $V = V[Y(\gamma), \gamma]$  et en posant égale à zéro, on obtient le CAP marginal pour une variation du risque de morbidité, définie par :

$$\frac{\partial Y}{\partial \gamma} = - \frac{\partial V / \partial \gamma}{\partial V / \partial Y} \quad [E4.4]$$

Tant que  $\partial V / \partial \gamma = [(\partial u / \partial s) - w\lambda](\partial s / \partial \gamma)$  et  $\partial V / \partial Y = \lambda$ , alors la fonction du CAP marginal peut être réécrite de la manière suivante :

$$\frac{\partial Y}{\partial \gamma} = - \frac{\partial s}{\partial \gamma} \frac{P_a}{\partial s / \partial a} = - \frac{\partial s}{\partial \gamma} \frac{P_m}{\partial s / \partial m} \quad [E4.5]$$

Alors, le CAP marginal pour une réduction du risque de morbidité est la réduction en jours de maladie donnant la variation de pollution, multipliée par le coût marginal de réduction des jours de maladie à travers l'un ou l'autre des comportements. Cette valeur, précisent Viscusi et Gayer (2005), est plus grande que le coût observable de la maladie<sup>15</sup>. Ils obtiennent que l'approche du coût de la maladie, mesure les coûts d'opportunité liés au fait d'être malade et les dépenses en comportement d'atténuation. Ce qui constitue une limite inférieure du CAP marginal, dans des conditions données.

### 2.2.1.5 Modèle de Gerking et Stanley (1986)

Les auteurs développent un modèle semblable à celui de Cropper (1981). Selon Gerking et Stanley (1986), l'utilité des individus est fonction de deux catégories de biens : leur propre stock de « capital santé » (H) et les biens qui procurent la satisfaction directe et n'affectant pas la santé (X). On a donc :

$$U = U(H, X) \quad [E5.1]$$

Le stock de « capital santé » est déterminé par la fonction de production suivante :

$$H = H(M; \alpha, \delta) \quad [E5.2]$$

Avec M désignant les soins médicaux,  $\alpha$  représentant la qualité de l'air et  $\delta$  désigne un ensemble d'autres variables exogènes telles que l'éducation, qui affectent H et on a :

$H'_M > 0$ ,  $H'_\alpha > 0$ ,  $H'_\delta$  supérieure, égale ou inférieure à zéro. Le programme à résoudre se présente comme suit :

$$\begin{aligned} & \text{Max} U(H, X) \\ & s/c X(P_X + wT_X) + M(P_M + wT_M) + wT_L = wT + A \end{aligned} \quad [E5.3]$$

Où  $P_i$ ,  $w$ ,  $T_i$  et  $T_L$  ( $i = X, M$ ), sont respectivement le prix du bien  $i$ , le taux de salaire, le temps de consommation d'une unité du bien  $i$ , et le temps perdu provenant des activités de marché et hors marché dues à la maladie. A, est un montant exogène de revenu. Le temps  $T_L$  est lié au stock de santé selon la relation suivante :

$$T_L = G(H) \text{ où } G'_H < 0 \quad [E5.4]$$

Le modèle peut être manipulé pour dériver une variation compensatrice représentant le CAP pour l'amélioration de la qualité de l'air. La différentielle totale de la fonction d'utilité étant égale à zéro, on a :

$$\begin{aligned} dU &= U'_X dX + U'_H dH = 0 \\ &= U'_X dX + U'_H [H'_M dM + H'_\alpha d\alpha + H'_\delta d\delta] = 0 \end{aligned} \quad [E5.5]$$

On pose  $q_i = (P_i + wT_i)$ , alors la différentielle totale de la contrainte budgétaire donne, pour  $dq_i = dw = dT = 0$ , l'équation suivante :

$$d(WT) = 0 = q_X dX + (q_M + wG'_H H'_M) dM - dA + wG'_H H'_\alpha d\alpha + wG'_H H'_\delta d\delta \quad [E5.6]$$

En utilisant les CPO du modèle, on a :

<sup>15</sup> Pour le détail de la preuve de cette conclusion, voir Viscusi et Gayer (2005), p. 1062-1063.

$$\begin{cases} U'_X = \lambda q_X = \lambda (P_X + wT_X) \\ U'_H H'_M = \lambda (q_M + wG'_H H'_M) = \lambda [(P_M + wT_M) + wG'_H H'_M] \end{cases} \quad [E5.7]$$

En substituant l'équation [E5.5] dans celle [E5.6] on obtient :

$$\frac{\partial A}{\partial \alpha} = -\frac{H'_\alpha q_M}{H'_M} = -\frac{(P_M + wT_M)}{H'_M} \quad [E5.8]$$

Cette équation indique que le CAP individuel est important pour une amélioration donnée de la qualité de l'air. Aussi, plus l'offre est élevée, plus faible est la productivité des services médicaux et plus élevé est leur coût. Si les services médicaux sont chers mais étant des moyens inefficaces d'amélioration de la santé, le CAP individuel est plus important pour une amélioration de la qualité de l'air. De plus, l'équation [E5.8] est relativement simple pour une application empirique si les termes de l'utilité sont éliminés. De même, l'expression  $\frac{\partial A}{\partial \alpha}$  implique des dérivées partielles de la fonction de production de santé plutôt que des paramètres issus d'une forme réduite du modèle de fonction dose-réponse. Enfin, l'équation [E5.8] pourrait être interprétée comme l'offre marginale d'éviter les effets de la maladie liée à la qualité de l'air réduite dans une période.

La sous-section qui suit aborde les aspects théoriques dans un cadre d'analyse des effets de mortalité liée à la pollution de l'air.

### 2.2.2 Revue théorique relative à la mortalité due à la pollution de l'air

Dans cette sous section, il s'agit pour nous de mettre en lumière les approches théoriques développées dans le cadre des effets de la pollution de l'air sur la mortalité. Il faut noter que plusieurs auteurs ont abordé la question à travers divers modèles. Nous mettons l'accent sur un certain nombre de ces travaux pour montrer comment la pollution de l'air constitue un fléau.

#### 2.2.2.1 Modèle de Chanel et Luchini (2008)<sup>16</sup>

On considère un ménage composé de N individus indexés par n, n = 1, ... , N ; d'âge  $j^n$  avec T l'âge maximal de survie. Chaque ménage a une fonction d'utilité à l'âge  $t$ , notée  $u_t(\cdot)$ , qui est supposée strictement concave, deux fois continûment différentiable, additive et séparable dans le temps.

On définit par  $\mu_j$ , le taux de mortalité pour un individu d'âge  $j$ . La probabilité d'avoir au moins l'âge  $t$ , dépend des taux de mortalité successifs. Elle est définie par :

$$S_t = e^{-\int_0^t \mu(s) ds} \quad [E6.1]$$

La probabilité d'arriver à l'âge  $t$  conditionnellement au fait d'avoir survécu jusqu'à l'âge  $j$ , est une fonction de survie notée par :  $S_t / S_j = S_{t,j}$ . On suppose qu'un membre du ménage (par convention, indexé par n = 1 dans la suite) maximise la somme des utilités espérées pour chaque membre du ménage conditionnellement au fait qu'il survive jusqu'à l'âge  $J^n$ . Ainsi on a :

$$\text{Max}_{c_{j^n+t}} E \left[ u(c_{j^n+t}) \right] = \int_0^{T-j^n} e^{-\delta t} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} u(c_{j^n+t}) dt \quad [E6.2]$$

$c_{j^n+t}$ , représente la consommation à l'âge  $j^n + t$  ;  $\delta_t$  est le taux marginal de préférence pour le présent ;  $E(\cdot)$  est l'opérateur d'espérance.

Dans le modèle usuel de cycle de vie avec un ensemble complet de rentes viagères, chaque individu est supposé choisir un plan de consommation intertemporelle qui dépend de sa richesse actuelle, de

<sup>16</sup> Ce modèle est une extension du modèle proposé par Chanel et al. (2004)

ses revenus futurs espérés  $y_t$ ,  $t = j, \dots, T$  et des possibilités d'emprunts et de placements sur les marchés de capitaux. Cela exige l'existence d'un marché complet et parfait de rentes viagères, permettant que la consommation de ceux qui survivent soit financée par les richesses de ceux qui meurent. Dans une situation pareille, les individus choisiraient les plans de consommation satisfaisant la contrainte budgétaire sur la durée de vie espérée. Blomqvist (2002) a remarqué que la famille opère souvent des transferts monétaires vers ses plus vieux membres et que les pays développés offrent des marchés privés d'assurance-vie et des plans de pension publics qui garantissent un niveau minimum de consommation à tout le monde. De ce fait, on suppose que la contrainte budgétaire intertemporelle d'équilibre perçue est :

$$\int_0^{T-j^1} e^{-rt} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}) dt = 0 \quad [E6.3]$$

$y_{j^n+t}$ , représente les revenus individuels à l'âge  $j^n + t$ ,  $t \geq 0$ ; et  $r$  est le taux d'intérêt constant du marché. Alors on a le programme suivant, qui conduit au chemin de consommation optimale  $C_{j^n+t}^*$  :

$$\begin{cases} \text{Max}_{c_{j^n+t}} E \left[ u(c_{j^n+t}) \right] = \int_0^{T-j^1} e^{-\delta t} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} u(c_{j^n+t}) dt \\ s/c \int_0^{T-j^1} e^{-rt} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}) dt = 0 \end{cases} \quad [E6.4]$$

La résolution de ce programme passe par l'Hamiltonien suivant :

$$H_t = \int_0^{T-j^1} e^{-\delta t} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} u(c_{j^n+t}) dt + \lambda^* \int_0^{T-j^1} e^{-rt} \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}) dt \quad [E6.5]$$

$\lambda$  est le multiplicateur de Lagrange et l'exposant (\*) représente les valeurs à l'optimum. Il est possible de définir la *contrepartie monétaire de la valeur actualisée de l'utilité sur la durée de vie espérée*<sup>17</sup>  $V_{j^1} / \lambda^*(j^1)$  (Johansson, 2001 et Blomqvist, 2002) :

$$\frac{V_{j^1}}{\lambda^*(j^1)} = \frac{1}{\lambda^*(j^1)} \int_0^{T-j^1} \left\{ \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} \left[ e^{-\delta t} u(c_{j^n+t}^*) + \lambda^* e^{-rt} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}^*) \right] \right\} dt \quad [E6.6]$$

$\lambda^*(j^1)$ , pourrait être interprété comme une fonction représentant la valeur actualisée de l'utilité marginale du revenu à l'âge  $j^1$ . On considère maintenant un projet qui conduit à une variation des taux de mortalité ( $\mu_{j^n}$ ) à l'âge  $j^n$ , et qui durera  $D$  années. On suppose que cette variation est indépendante de l'âge et est notée par  $d\mu$ . Cela implique une variation  $dS_{j^n+t, j^n}$  de la fonction de survie conditionnelle des individus à l'âge  $j^n + t$ ,  $t \geq 0$ .

Soit le consentement à payer (CAP) par le ménage pour ce projet et donc pour  $dS_{j^n+t, j^n}$ . Alors, il est possible de déterminer le CAP qui devrait laisser inchangée l'utilité espérée par :

$$\int_0^{T-j^1} \left\{ \sum_{n=1}^N dS_{j^n+t, j^n} \left[ e^{-\delta t} u(c_{j^n+t}^*) + \lambda^* e^{-rt} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}^*) \right] \right\} dt - \lambda^*(j^1) \text{CAP} = 0 \quad [E6.7]$$

Des équations [E6.6] et [E6.7], on définit la *contrepartie monétaire de la valeur actualisée de l'utilité sur la durée de vie espérée*  $V_{j^1} / \lambda^*(j^1)$  par :

17 Cette contrepartie monétaire est appelée la valeur d'évitement d'un décès (VED) à l'âge  $j$  dans Chanel et al (2004)



$$\frac{V_{j^1}}{\lambda^*(j^1)} = \frac{CAP \int_0^{T-j^1} \left\{ \sum_{n=1}^N S_{j^n+t, j^n} \left[ e^{-\delta t} u(c_{j^n+t}^*) + \lambda^* e^{-rt} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}^*) \right] \right\} dt}{\int_0^{T-j^1} \left\{ \sum_{n=1}^N dS_{j^n+t, j^n} \left[ e^{-\delta t} u(c_{j^n+t}^*) + \lambda^* e^{-rt} (y_{j^n+t} - c_{j^n+t}^*) \right] \right\} dt} \quad [E6.8]$$

On suppose que le projet varie le taux de mortalité pendant un très petit intervalle de temps D. Soient  $S_{j^n+t, j^n}$  et  $\bar{S}_{j^n+t, j^n}$  les fonctions de survie de l'individu n à l'âge  $j^n$  avant et après respectivement, avant et après la variation  $d\mu$  taux de mortalité respectivement. On a :

$$\begin{aligned} \bar{S}_{j^n+t, j^n} &= e^{-\int_{j^n}^{j^n+D} [\mu(s) - d\mu] ds} e^{-\int_{j^n+D}^{j^n+t} \mu(s) ds} \\ &= e^{-\int_{j^n}^{j^n+t} \mu(s) ds} e^{\int_{j^n}^{j^n+D} d\mu ds} \\ &= e^{Dd\mu} S_{j^n+t, j^n} \end{aligned} \quad [E6.9]$$

n = 1, ... .., N. Pour une petite variation  $Dd\mu$ , on a :

$$dS_{j^n+t, j^n} = \bar{S}_{j^n+t, j^n} - S_{j^n+t, j^n} = S_{j^n+t, j^n} [e^{Dd\mu} - 1] \approx S_{j^n+t, j^n} Dd\mu \quad [E6.10]^{18}$$

Alors l'équation [E6.8] devient plus simple et donne :

$$\frac{V_{j^1}}{\lambda^*(j^1)} = \frac{CAP}{Dd\mu} \quad [E6.11]$$

L'équation [E6.11] est interprétée, dans le cadre d'un seul individu d'âge j, comme la valeur de prévention d'une fatalité (VPF) à l'âge j (Johansson, 2001 ; Blomqvist, 2002).

De plus les auteurs montrent que la *contrepartie monétaire de la valeur actualisée de l'utilité sur la durée de vie espérée*, peut être interprétée en termes d'une seule VPF. Autrement, elle correspond à la somme des VPF des membres du ménage. Donc on a :

$$\frac{V_{j^1}}{\lambda^*(j^1)} = \sum_{n=1}^N VPF_n \quad [E6.12]$$

Chacune de ces valeurs VPF de chaque individu, peut être exprimée comme la Valeur d'Années Perdues (VAP)<sup>19</sup> comme Viscusi et al (1997) l'ont fait en temps discret ; ou Lecksell et Rabl (2001) l'ont fait en temps continu. De là la VPF d'un individu d'âge j peut être exprimée comme suit:

$$VPF_j = \int_j^T e^{\delta(t-j)} S_{t,j} VAP dt \quad [E6.13]$$

En combinant les équations [E6.11], [E6.12] et [E6.13], on peut écrire ce qui suit :

18 Le résultat de cette équation est obtenu par développement limité d'ordre 1 de  $Dd\mu$

19 Cette valeur est dénommée par les auteurs « Value Of Lost Years (VOLY) »

$$\frac{V_{j^1}}{\lambda^*(j^1)} = (Dd\mu)^{-1} CAP = VAP \sum_{n=1}^N \int_{j^n}^{\bar{T}^n} e^{\delta(t^n - j^n)} S_{t^n, j^n} dt^n \quad [E6.14]$$

où  $\bar{T}^n$  représente l'âge jusqu'auquel l'individu  $n$  du ménage atteindra et  $\delta$  est le taux d'actualisation des années de vie.

Pour l'étude empirique, les auteurs supposent dans l'équation [E6.14] que toutes les années de vie sont évaluées équitablement : -par les individus et à travers eux-le taux d'actualisation est constant et -le répondant ne pèse pas sur les membres du ménage plus qu'à travers leur âge respectif.

### 2.2.2.2 Modèle d'Alberini et al. (2004)

Dans leur étude, Alberini et al. (2004) ont estimé le CAP pour une réduction du risque de mortalité. Dans leur démarche, ils ont cherché les effets de l'âge et de l'état de santé. Pour illustrer les raisons pour lesquelles la théorie n'offre pas des prédictions ambiguës à propos de la relation entre l'âge et le CAP, un modèle de cycle de vie de la consommation a été considéré, dans lequel l'individu maximise son utilité espérée de la vie par son choix de consommation  $C_t$  :

$$V_j = \sum_{t=0}^T U(C_{j+t}) p_{jt} (1 + \delta)^{j-t} \quad [E7.1]$$

Où  $U(\cdot)$  est la fonction d'utilité,  $p_{jt}$  représente la probabilité de survivre jusqu'à l'âge  $t$  conditionnellement au fait d'avoir atteint l'âge  $j$ , et  $\delta$  est le taux intertemporel de préférence. La contrainte budgétaire peut prendre plusieurs formes, selon l'hypothèse qu'on souhaite faire au sujet d'emprunt ou de prêt suivant les occasions de l'individu.

Il a été montré que la Valeur Statistique de la Vie (VSV), laquelle est définie comme le taux auquel l'individu échange le revenu contre le risque de décéder à la fin de la période courante, est égale à :

$$VSV_j = \frac{1}{1 - D_j} \sum_{t=0}^T p_{jt} (1 + \delta)^{j-t} \frac{U(C_t)}{U'(C_t)} \quad [E7.2]$$

Où  $D_j$  est la probabilité de mourir à l'âge  $j$ . Le CAP pour une petite variation de risque  $dD_j$ , est alors :  $VSV_j dD_j$ .

L'équation [E7.2] suggère qu'on attendrait une augmentation du CAP en fonction de  $D_j$  qui croit en fonction de l'âge. Ce n'est pas clair cependant, et comment le terme  $U(C_t)/U'(C_t)$  dépend de l'âge, donc l'effet sur la VSV est ambigu. Il en est de même pour le cas de l'état de santé.

### 2.2.2.3 Modèle d'Armantier et Treich (2004)

Les auteurs ont considéré un simple modèle qui permet d'imaginer une relation entre l'évaluation sociale des changements de risque de mortalité et l'hétérogénéité au sein de la population.

On suppose que dans l'économie il y a  $n$  agents. Chaque agent  $i = 1, \dots, n$  dispose d'une richesse  $w_i$  et une probabilité de survie  $p_i$ . Son utilité espérée est  $p_i u(w_i) + (1 - p_i) v(w_i)$ , où  $u(\cdot)$  et  $v(\cdot)$  sont les fonctions d'utilité respectives conditionnelles au fait d'être en vie ou mort ; avec  $u > v$ . Pour des raisons de comparaison, on suppose que tous les agents ont la même fonction d'utilité. On suppose aussi que les fonctions d'utilité sont croissantes, deux fois différentiables et concaves, et que l'utilité marginale de la monnaie est plus grande lorsque l'agent est en vie ; autrement  $u' > v' \geq 0$ . Un projet

entraîne une variation  $\varepsilon_i$  du risque de mortalité pour un individu  $i$  de  $p_i$  à  $p_i + \varepsilon_i$ . Le coût par tête du projet est  $C$ .

Le critère social peut être décrit comme suit. Le projet serait adopté dans l'économie si et seulement si :

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n [(p_i + \varepsilon_i)u(w_i - c) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v(w_i - c) - p_i u(w_i) - (1 - p_i)v(w_i)] > 0 \quad [\text{E8.1}]$$

Ils supposent que la variation du risque est relativement petite, et que le coût du projet  $C$  est négligeable par rapport à la richesse. En utilisant le développement de Taylor du premier ordre autour de  $w_i$ , alors l'équation [E8.1] est équivalente à :

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sum_{i=1}^n [(p_i + \varepsilon_i)(u(w_i) - cu'(w_i)) + (1 - p_i - \varepsilon_i)(v(w_i) - cv'(w_i)) - p_i u(w_i) - (1 - p_i)v(w_i)] \\ &= \sum_{i=1}^n [\varepsilon_i(u(w_i) - v(w_i)) - c((p_i + \varepsilon_i)u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v'(w_i))] \end{aligned} \quad [\text{E8.2}]$$

Le critère social d'acceptation  $\Delta U > 0$  est alors équivalent à :

$$\bar{B} = \frac{\sum_i \varepsilon_i (u(w_i) - v(w_i))}{\sum_i (p_i + \varepsilon_i)u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v'(w_i)} > c \quad [\text{E8.3}]$$

En d'autres termes le bénéfice par tête doit excéder le coût par tête du projet.

On raisonne maintenant par l'approche du CAP.

Le CAP net  $z_i$  d'un individu  $i$  est défini par :

$$\begin{aligned} p_i u(w_i) + (1 - p_i)v(w_i) &= (p_i + \varepsilon_i)u(w_i - c - z_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v(w_i - c - z_i) \\ &= (p_i + \varepsilon_i)[u(w_i) - (c + z_i)u'(w_i)] + (1 - p_i - \varepsilon_i)[v(w_i) - (c + z_i)v'(w_i)] \end{aligned} \quad [\text{E8.4}]$$

Donc on obtient :

$$z_i = \frac{\varepsilon_i (u(w_i) - v(w_i))}{(p_i + \varepsilon_i)u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v'(w_i)} - c \quad [\text{E8.5}]$$

Intuitivement le CAP net  $z_i$  croît avec une variation positive de la probabilité de survie  $\varepsilon_i$ , décroît avec le coût par tête  $C$  du projet, croît avec le risque  $1 - p_i$ , et avec l'hypothèse sur  $u$  et  $v$ , il croît aussi avec la richesse  $w_i$  et avec la courbure de  $u$ . Aussi, il est à noter que  $z_i$  est positif si et seulement si le projet améliore le bien-être de l'individu. D'où, en principe,  $z_i$  est un indicateur approprié pour l'impact du projet sur le bien-être d'un individu  $i$ .

Le critère du CAP est réduit pour vérifier si le CAP net est positif, ou de manière équivalente que le CAP moyen est plus élevé que le coût par tête du projet.

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i (u(w_i) - v(w_i))}{(p_i + \varepsilon_i)u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v'(w_i)} > c \quad [\text{E8.6}]$$

Cette équation n'est pas en général équivalente au critère d'efficacité sociale en [E8.3]. C'est le cas où  $p_i$ ,  $\varepsilon_i$  et  $w_i$  sont indépendants pour  $i$ , c'est quand les agents sont homogènes. Restrictivement, c'est le cas quand  $(p_i + \varepsilon_i)u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i)v'(w_i)$  est le même pour n'importe quel individu  $i$ , c'est le CAP qui est un critère d'efficacité pour le cas spécial dans lequel l'utilité marginale de la monnaie est la même à travers les individus.

Plus généralement le critère de CAP surestimera la valeur du projet social si et seulement si la condition suivant se vérifie :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i (u(w_i) - v(w_i))}{(p_i + \varepsilon_i) u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i) v'(w_i)} - \frac{\sum_i \varepsilon_i (u(w_i) - v(w_i))}{\sum_i (p_i + \varepsilon_i) u'(w_i) + (1 - p_i - \varepsilon_i) v'(w_i)} = \bar{Z} - \bar{B} \geq 0 \quad [\text{E8.7}]$$

D'abord les auteurs ont supposé une hétérogénéité au niveau de la probabilité de survie  $p_i$  uniquement afin de voir l'effet. De ce fait l'inégalité [E8.7] se réduit à :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(p_i + \varepsilon) u'(w) + (1 - p_i - \varepsilon) v'(w)} - \frac{1}{\sum_i (p_i + \varepsilon) u'(w) + (1 - p_i - \varepsilon) v'(w)} \geq 0$$

En considérant l'hétérogénéité dans la richesse  $w_i$  seulement, ainsi pour tout  $n$  et pour tout  $(p, \varepsilon) \in [0, 1]^2$ , l'inégalité [E8.7] se réduit à :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{u(w_i) - v(w_i)}{(p + \varepsilon) u'(w_i) + (1 - p - \varepsilon) v'(w_i)} - \frac{\sum_i (u(w_i) - v(w_i))}{\sum_i (p + \varepsilon) u'(w_i) + (1 - p - \varepsilon) v'(w_i)} \geq 0$$

Enfin, si la source de l'hétérogénéité est dans la variation du risque de mortalité  $\varepsilon_i$ , alors pour tout  $n$  et pour tout  $(p, \varepsilon) \in [0, 1]^2$ , l'inégalité [E8.7] se réduit à :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{u(w_i) - v(w_i)}{(p + \varepsilon) u'(w_i) + (1 - p - \varepsilon) v'(w_i)} - \frac{\sum_i (u(w_i) - v(w_i))}{\sum_i (p + \varepsilon) u'(w_i) + (1 - p - \varepsilon) v'(w_i)} \geq 0$$

De ces trois cas d'hétérogénéité<sup>20</sup>, les auteurs aboutissent à la proposition suivante :

*Supposez que le projet induit une petite variation du risque de mortalité, dont le coût est uniformément distribué à travers la population et que les agents sont appelés à maximiser leur utilité espérée, alors :*

- *s'il y a d'hétérogénéité à travers la population soit au niveau de la probabilité de survie  $p_i$  ou soit au niveau de la richesse  $w_i$ , donc le critère du CAP amène à surestimer la valeur sociale du projet pour une réduction du risque de mortalité.*
- *s'il y a d'hétérogénéité dans la variation du risque de mortalité  $\varepsilon_i$ , donc le critère du CAP amène à sous-estimer la valeur sociale du projet pour une réduction du risque de mortalité.*

Les auteurs ont fait des simulations à partir d'une analyse d'évaluation contingente. Les résultats qu'ils ont obtenus sont présentés dans la deuxième partie de la thèse.

## Conclusion

Dans le chapitre 2 de la thèse, le concept de la pollution atmosphérique est clairement détaillé. Les diverses composantes de l'air qui font que la qualité de ce dernier devient mauvaise pour la santé de l'homme, sont analysées. Les caractéristiques, de même que les conséquences de la pollution de l'air dans la ville de Cotonou sont abordées. Mais également, une analyse de la perception de cette pollution par les populations de Cotonou, est faite. Les différentes maladies engendrées par la pollution de l'air au sein de ladite ville sont identifiées à travers une revue documentaire et de façon empirique. Alors, les modalités significatives du niveau de gravité de la pollution de l'air perçu par la population,

20 Pour l'obtention des différents effets, les auteurs ont utilisé le Lemme suivant : Prenons une fonction  $g$  positive croissante (décroissante) définie de  $IR \rightarrow IR$ .  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f(x_i)}{g(x_i)} - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g(x_i)} \geq 0$ , est une condition valable si et seulement si  $f/g$  est décroissante (croissante).

sont « Modéré » et « grave » ; et plusieurs maladies persistent au sein de cette dernière du fait de la pollution de l'air. Les précautions habituelles prises par la population sont décrites.

De l'analyse des différents modèles théoriques dans les deux cas (morbidité et mortalité), il ressort que la pollution de l'air agit sur la santé de l'homme en la dégradant. Dans une optique de réduction des émissions de polluants atmosphériques, les modèles permettent de dériver en quelque sorte des CAP qui traduisent ce qu'un individu exposé subit en termes de coûts de morbidité ou de mortalité, du fait de la dégradation de l'environnement (pollution de l'air).

## DEUXIÈME PARTIE

### **Coûts de morbidité et de mortalité dus à la pollution atmosphérique à Cotonou**

**La connaissance des coûts sanitaires dans un cadre de la pollution atmosphérique, constitue un moyen d'aide à la prise de décision en matière de politique sanitaire et/ou environnementale. Une évaluation de tels coûts de façon empirique donne une clarification sur les effets de la pollution de l'air sur la santé humaine pour la ville de Cotonou. Cette partie de cette thèse se penche sur l'évaluation des coûts sanitaires de la pollution en termes de morbidité et de mortalité.**

# Chapitre 3

## Coûts de morbidité due à la pollution atmosphérique à Cotonou

### Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons montré comment d'une part, la population de la ville de Cotonou perçoit la pollution atmosphérique dans ladite ville; puis d'autre part nous avons abordé les conséquences sanitaires de cette pollution dans Cotonou. Mais le fait d'être malade compte tenu de la pollution de l'air coûte quoi à l'individu ou à la société ? La réponse à cette interrogation nous amène à procéder à une évaluation des coûts liés à l'état morbide qu'engendre la pollution de l'air pour la population de Cotonou. Ces coûts de morbidité comprennent deux composantes (coût privé et coût social). Avant d'évaluer chacune de ces composantes, il urge de comprendre leur méthodologie d'évaluation ainsi que leur application antérieure. Ainsi, dans la première section de ce chapitre, nous présentons une revue méthodologique et empirique sur l'évaluation des coûts liés à la pollution de l'air; et dans la seconde section nous évaluons les coûts de morbidité dans un cadre de pollution atmosphérique

### 3.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de morbidité liée à la pollution de l'air

Cette section aborde une revue méthodologique et empirique relative aux coûts de morbidité. Elle permet de donner un éclairage sur les méthodes possibles utiles dans une estimation du genre. Une présentation des différentes méthodes d'évaluation est donc faite dans la première sous-section, et la deuxième sous-section met en lumière quelques travaux empiriques d'évaluation des coûts liés à la morbidité dans un contexte de la pollution de l'air.

#### 3.1.1 Les méthodes d'évaluation des coûts sanitaires liés à la pollution de l'air

Plusieurs méthodes permettent de procéder à une évaluation des coûts de morbidité dans le domaine de la pollution atmosphérique, voire d'estimer l'impact de cette pollution sur la mortalité. Deux grandes approches permettent d'évaluer les coûts de santé liés à la pollution de l'air. Il s'agit des approches dites directes et celles qualifiées d'indirectes. Ces dernières se basent sur deux cas de figure à savoir : la demande observée et les approches comptables. La représentation schématique ci-dessous (schéma N°2), inspirée de Rozan (2000) donne une vue globale sur les méthodes d'évaluation.

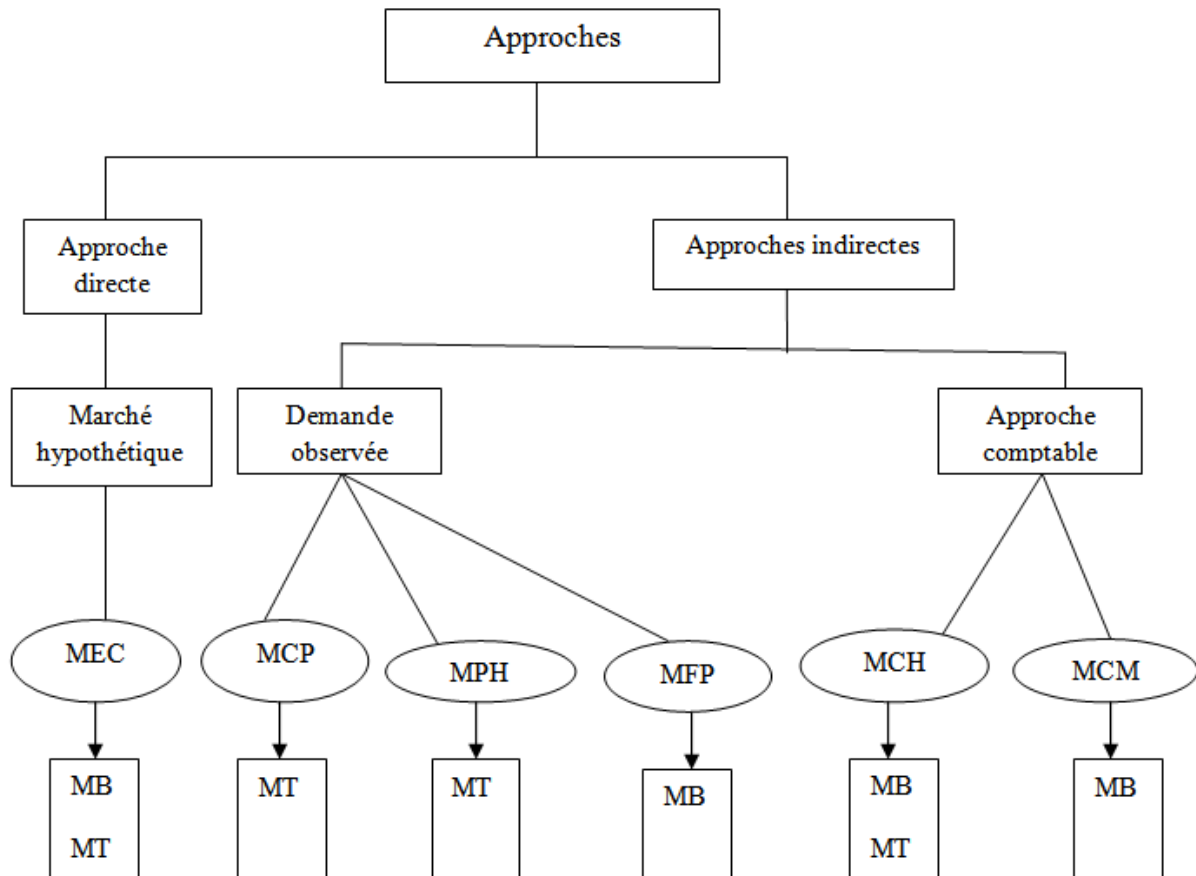


Schéma N°2 : Différentes méthodes de mesure des coûts sanitaires

**Légende**

MEC : Méthode d'Evaluation Contingente ;  
 MCP : Méthode du Coût de Protection ;  
 MPH : Méthodes des Prix Hédonistes ;  
 MFP : Méthode de la Fonction de Production de santé ;  
 MCH : Méthode du capital Humain ;  
 MCM : Méthode du Coût de la Maladie ;  
 MB : Morbidité ; MT : Mortalité

Il ressort de cette représentation que globalement deux effets majeurs sont évalués dans le cadre de la pollution de l'air : la mortalité et la morbidité.

Tout en présentant les méthodes relatives à l'évaluation de la morbidité, nous indiquerons au fur et à mesure celles qui sont relatives à la mortalité. D'abord, nous présentons les méthodes indirectes, puis celle directe par la suite.

**3.1.1.1 Les méthodes indirectes d'évaluation**

Nombreuses sont les méthodes qui entrent dans cette catégorie. Ici, on distingue les méthodes relatives à une demande observée de celles relevant d'une approche comptable.



**Cas de demande observée**

Les méthodes d'évaluation entrant dans cette rubrique sont fondées sur les informations disponibles sur les marchés, il s'agit de la Méthode du Coût de Protection (MCP), de la Méthode des Prix Hédonistes (MPH) et de la Méthode de la Fonction de Production (MFP) de santé.

La Méthode du Coût de Protection (MCP), en se basant sur le marché des dépenses de protection, consiste à considérer que certains achats permettent de réduire le risque de décéder, et sous l'hypothèse que ces achats sont effectués jusqu'au point où leur coût marginal égale la valeur marginale associée à la réduction de la probabilité de décès, il est possible d'attribuer une valeur à la vie humaine (Géniaux G. et Rabl A., 1998). Cette méthode a été utilisée avec les détecteurs de fumée (Dardis, 1980), les ceintures de sécurité (Blomquist, 1979) ou le changement des habitudes de consommation chez les fumeurs (Ippolito et Ippolito, 1984) ; mais elle reste lourde à mettre en œuvre et pose plusieurs problèmes. Selon Desaignes et Point (1993), les différentes valeurs obtenues pour cette étude sont généralement faibles et qu'un effort d'analyse empirique reste à faire dans ce domaine.

La Méthode des Prix Hédonistes (MPH) repose sur l'hypothèse selon laquelle le prix d'un bien différencié permet une révélation du prix implicite ou hédoniste d'une caractéristique spécifique de ce bien. Le marché de travail et celui du logement font appel aux méthodes hédonistes. Ainsi, la MPH considère que les travailleurs perçoivent une prime pour une compensation du risque d'un décès accidentel. Cela suppose la connaissance des risques de décès relatifs à diverses catégories de travailleurs, et les salaires correspondant pour attribuer une valeur à la vie humaine. Pour Desaignes et Point (1993), on suppose qu'il existe un différentiel de salaire associé à un différentiel de risque, et que l'on peut en déduire une estimation statistique de la vie. Ainsi, en considérant deux métiers X et Y, semblables en tout point sauf que les ouvriers en X courent un risque plus grand qu'en Y (1 risque de décès par an pour 10.000 ouvriers) ; leur salaire est supérieur de 5.000 F par an ; ces auteurs trouvent que la valeur implicite attachée à un non-décès par an est de 50 millions de francs. Les métiers étant différents, il est donc nécessaire de construire une fonction hédoniste des salaires afin de pouvoir calculer le prix implicite (ou le consentement marginal à payer) pour une réduction marginale du risque. Les statistiques sur les risques associés aux différentes professions, et sur les caractéristiques des professions sont rares, aussi les premières études ont donné soit des valeurs faibles, soit des valeurs trop élevées, selon les données utilisées. Beaucoup de résultats obtenus à l'aide de cette méthode sont regroupés par Fisher et al. (1989)<sup>21</sup>.

En ce qui concerne la Méthode de la Fonction de Production (MFP) de santé, il faut noter que la santé est considérée comme un bien capital, et les individus peuvent investir dans la prévention contre la maladie, ou dans des dépenses compensatoires lorsque la qualité de l'air se dégrade (Cropper, 1981 ; Gerking et Stanley, 1986). Le capital « santé » est une fonction de production dont les facteurs sont l'ensemble des dépenses liées à la santé, la qualité de l'air, et un ensemble de variables exogènes, telles que l'éducation, l'âge, etc. Le modèle utilisé à cette fin, permet de définir un CAP correspondant au montant annuel de revenu auquel un individu renonce pour bénéficier d'une amélioration de la qualité de l'air. Cette méthode représente cependant, un apport théorique certain, car elle permet de dériver un CAP lorsque la santé est considérée comme un élément du bien-être de l'individu. La vérification empirique amène les auteurs à obtenir un CAP qui varie de 18.45 \$ à 24.48 \$ par an, pour une réduction de 30% de la concentration moyenne d'ozone aux Etats Unis (St Louis).

Il faut noter que tandis que la MFP de santé est utilisée uniquement pour l'évaluation de la morbidité, la MCP et la MPH ne sont utilisées que pour l'évaluation de la mortalité.

**Cas de l'approche comptable**

A ce niveau, les méthodes qui sont généralement utilisées sont : la Méthode du Coût de la Maladie (MCM) et la Méthode du Capital Humain (MCH).

<sup>21</sup> Ces résultats sont recensés par Desaignes et Point (1993), page 187.

La Méthode du Coût de la Maladie (MCM) consiste à sommer les dépenses liées à la maladie et les pertes de journées de travail. Cette méthode est la plus répandue. Cependant Freeman (1985) considère qu'elle ne devrait être utilisée que si les valeurs expriment réellement le Consentement A Payer (CAP) des individus. Elle ne prend souvent pas en compte le CAP pour éviter la souffrance infligée par la maladie, ou les dépenses de protection contre les effets de la pollution. Elle estime les coûts monétaires que la maladie inflige à la société dans son ensemble. Selon Desaignes et Point (1993), la mise en œuvre de cette méthode pour l'estimation de l'impact de la qualité de l'air sur la maladie passe par deux phases. La première phase permet de calculer l'effet marginal de la pollution sur la santé à partir d'une fonction de dommage physique qui relie un effet particulier sur la santé à la concentration ambiante de polluants et aux variables socio-économiques. La deuxième phase permet d'attribuer un coût (ou bénéfice) économique à la variation de l'état de santé. Ainsi, en vue de calculer le bénéfice d'une réduction de la pollution d'ozone dans les régions des Etats-Unis, Krupnick et Portney (1991) utilisent une fonction dose-réponse construite à partir d'études épidémiologiques et cliniques. L'étude clinique porte sur de petits groupes de 20 à 135 personnes, et permet de faire l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la population. L'étude épidémiologique montre qu'une personne asthmatique bénéficiera de 0,2 jour en moins de crise d'asthme, par an, et qu'un non asthmatique bénéficiera de 0,1 jour de réduction d'activité en moins. Les auteurs ont collecté des informations sur les dépenses médicales engagées par les individus, ainsi que les pertes de revenu induites par la maladie. Elles donnent en moyenne 25 \$ par crise d'asthme évitée, 20 \$ par journée d'activité réduite en moins, et 5 \$ par journée non affectée par la toux. Les résultats de la fonction dose-réponse sont ensuite multipliés par le coût moyen unitaire pour donner le bénéfice total associé à une diminution de la pollution de l'air. On obtient ainsi 250 millions de dollars en ce qui concerne les résultats des études épidémiologiques, et 800 millions de dollars dans le cas des résultats d'études cliniques.

Pour ce qui est de la MCH, il faut noter qu'on tient compte de la durée restante à vivre pour un individu dans l'évaluation. Cette approche suppose que la valeur de l'individu est représentée par ce qu'il produit et cette productivité est correctement et uniquement mesurée par ses revenus. Autrement, la valeur de la vie à un instant donné est égale à la perte productive future évaluée comme la somme actualisée des revenus que l'individu aurait gagnés durant la partie restante de la durée de sa vie espérée (Géniaux et Rabl, 1998). Un certain nombre de problèmes se posent dans l'utilisation de cette méthode. D'abord, la valeur de la vie humaine est considérée comme une valeur dictée par le système productif. En plus, la production non marchande n'est pas prise en compte. Plusieurs études ont attribué les mêmes revenus aux travailleurs de maison (Lave et Seskin, 1977). Egalement, le choix du taux d'intérêt pose problème. La valeur du capital humain pour de jeunes individus est particulièrement sensible au choix de ce taux. Cooper et Rice (1976) retiennent 6 %, Landfeld et Seskin (1982) retiennent 10 %. Lind (1982) considère cependant que le taux d'intérêt social devrait se situer entre 2 et 3 %. Même en choisissant un taux d'intérêt de 2,5 % (Landfeld et Seskin, 1982), les grandeurs obtenues demeurent inférieures, d'un facteur de 2,5 à 3 environ, à celles obtenues par une estimation contingente du prix statistique de la vie. La principale critique faite à cette méthode est de considérer l'individu sous son seul aspect productif, et donc de ne plus être cohérente avec la théorie du bien-être qui base les valeurs sur les préférences individuelles (Desaignes et Point, 1993). L'individu est en réalité considéré, dans cette méthode comme un capital physique (machines, outils.....) et que cette dernière tient compte de la somme des revenus futurs espérés de l'individu s'il n'était pas décédé de façon prématurée. Une réduction de la probabilité de décès, avant un certain âge, devrait donc être basée sur le consentement à payer des individus. Ceci justifie l'utilisation des méthodes précédentes (MCP, MPH) basées sur le concept de « consentement à payer ». Ainsi, l'individu n'est plus considéré uniquement comme un élément du système de production.

Les deux méthodes (MCM et MCH) sont utilisées dans le cadre de l'évaluation de la morbidité. De plus, l'usage de la MCH s'observe plus pour l'évaluation de la mortalité (Lave et Seskin, 1977).

### 3.1.1.2 La méthode directe d'évaluation

La méthode d'évaluation suivant l'approche directe est la Méthode d'Evaluation Contingente (MEC).

La MEC a pour objet la construction d'estimations de mesures compensées de variation de bien-être sur la base de données issues d'interrogations directes d'échantillons représentatifs. Pour évaluer le bien-être social imputable à une baisse de la pollution atmosphérique, les questionnaires doivent mettre à jour les préférences concernant la baisse du risque de maladie, les souffrances et nuisances évitées, la joie de vivre dans un environnement plus sain. Autrement dit, elle permet de proposer un marché « contingent » aux agents, dans lequel on leur demande d'opérer un choix ; ceci dans le but de connaître le CAP de l'enquêté. Cette méthode a connu sa première application avec Davis (1963) aux Etats Unis. Elle est fondée sur l'observation des préférences des agents pour une variation hypothétique de la qualité de l'environnement. Après l'utilisation de la méthode, Berger et al. (1987) ont conclu que le CAP est toujours supérieur au coût économique des indispositions chez les individus enquêtés. Ainsi, des 176 personnes sur un total de 262 enquêtés et ayant souffert d'une indisposition, 148 affichent un CAP supérieur au coût économique. Le CAP s'élève donc avec la douleur supportée. Par exemple, pour une journée de rhume, le bénéfice économique est de 6.79\$ et le CAP de 27\$ ; par contre pour une journée sans maux de tête, le bénéfice économique est de 3.45\$ et le CAP de 108\$. Rozan (2000), montre que la MEC permet d'évaluer le coût privé ou coût de la gêne ; ce que les autres méthodes ne permettent pas. L'auteur montre que la MCM et la MEC sont complémentaires dans l'évaluation de la morbidité due à la pollution atmosphérique. En se penchant sur le cas de la morbidité bénigne, l'auteur obtient que le coût privé évalué avec la MEC représente environ 50% du coût total de la maladie ; et les coûts socialisés évalués avec la MCM sont pratiquement faibles.

Il convient de noter que cette méthode d'évaluation contingente est utilisée également pour des évaluations dans d'autres domaines. Ainsi, Pokou et al. (2010) ont appliqué cette méthodologie pour une évaluation de la velléité des éleveurs à contribuer à la lutte contre la trypanosomose au nord de la Côte-d'Ivoire. Cette évaluation contingente leur a permis de voir les pourcentages de participation, soit financière ou non des éleveurs. Les résultats du modèle économétrique utilité par les auteurs (Tobit récursif), leur ont permis d'identifier les variables déterminantes de la velléité à contribuer en main-d'œuvre, ainsi que les facteurs significatifs de la participation financière des éleveurs. La proposition moyenne qu'ils ont obtenue est de 236 FCFA par tête de bovin et par an puis de huit journées de travail par exploitation par mois. Donc, l'usage de la MEC est toujours d'actualité, et cette dernière peut valablement aider dans nos évaluations de coûts sanitaires.

Dans le cadre d'une estimation des CAP des touristes pour des nouvelles réserves naturelles dans le Golfe du Morbihan, Voltaire et al. (2010) ont fait une application de la MEC. Ils ont montré effectivement qu'il y a un bénéfice à protéger le littoral du Golfe de Morbihan par le canal des réserves naturelles. Mais avant, ils ont fait une comparaison entre deux moyens de paiement, et leurs résultats ont révélé un effet significatif de ces propositions sur la décision de payer ou non, puis sur les montants annoncés.

Au Bénin, cette même méthode a été appliquée dans le domaine de l'eau. Ainsi, Soglo (2006), dans son évaluation des bénéfices de l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable pour les ménages de la ville de Parakou, a utilisé la MEC. Il a estimé ces bénéfices à 274 FCFA par mètre cube d'eau acheté. Cette valeur correspond au coût d'accès à l'eau potable pour les ménages n'ayant pas de branchement individuel. Le montant obtenu par cet auteur est une dérivation du CAP moyen à partir d'un modèle de consentement à payer.

Cette méthode est sujette à des biais (Mitchell et Carson, 1989 ; Bonniex et al. 1995): biais de contexte, biais hypothétique, biais stratégique, biais d'inclusion, biais liés au moyen de paiement, biais d'échantillonnage etc. A la suite des polémiques qu'il y a eu autour de la MEC, les tribunaux américains ont reconnu la pertinence de cette méthode ; mais à condition qu'elle suive les recommandations du « National Oceanic and Atmospheric Administration » N.O.A.A. Panel (Arrow et al., 1993). Alors, la

correction des biais nécessite une rigueur particulière aussi bien dans l'élaboration du questionnaire que dans le traitement statistique des données. Les différents biais dont il est question sont les biais liés aux individus enquêtés, les biais relatifs au questionnaire et les biais d'échantillonnage.

#### *Les biais liés aux individus enquêtés*

- *Le biais hypothétique* : il apparaît lorsque l'individu, dans la situation d'une transaction hypothétique, ne peut se projeter. Il se caractérise par les écarts entre les réponses hypothétiques et comportements réels. Généralement, ce biais résulte des faiblesses<sup>22</sup> relatives aux évaluations contingentes telles que le manque de familiarité avec le marché contingent, le manque d'information et l'incertitude.
- *Le biais stratégique* : il apparaît lorsque les répondants pensent que leurs réponses peuvent influencer la décision finale d'accord ou de rejet de la politique décrite dans un scénario, et répondent en conséquence. Ce biais traduit que les répondants ont une appréciation relativement claire des conséquences du projet, et qu'ils disposent d'informations sur les critères de choix qui vont jouer dans la décision.

#### *Les biais relatifs au questionnaire*

- *Le biais d'inclusion* : il est perçu comme la tendance des individus à donner une valeur globale à un bien sans tenir compte de sa délimitation précise au sein de l'ensemble des biens dans lequel il s'insère. Cela implique que le bien est perçu d'une façon erronée par les individus. En général, l'importance de ce biais dépend de la nature des biens que l'on veut évaluer. Ce biais est certain lorsque le chercheur ne prend pas la peine de relativiser le bien à valoriser. La correction de ce biais est assurée par une succession de questions qui permettent de préciser le scénario dans lequel se situe l'évaluation contingente.
- *Le biais de contexte* : cet effet découle de la manière dont les questions sont posées et qui agit sur les vraies valeurs supposées de l'individu. L'effet de contexte est bien familier aux psychologues mais il n'est pas aisé de maîtriser dans quelle proportion il affecte les réponses. Dans une situation où les individus ne sont pas familiers au bien à valoriser, il est important de tester différentes variantes du questionnaire sur des sous-groupes d'individus pour permettre une estimation de la sensibilité des réponses aux questions posées.

#### *Les biais d'échantillonnage*

Ces biais apparaissent généralement lorsque la population choisie n'est pas celle qui bénéficie directement de la qualité de l'actif naturel (l'air par exemple), ou si l'échantillon n'a pas été bien élaboré. On les observe aussi lorsque les caractéristiques des répondants diffèrent de celles de la population mère. Un minimum de précaution dans l'élaboration du questionnaire et dans le contrôle des réponses, permet de limiter ces erreurs.

### **3.1.2 Revue empirique sur les coûts de morbidité due à la pollution de l'air**

Plusieurs travaux se sont penchés sur la question de la morbidité liée à la pollution de l'air. A cet effet, ils ont cherché à estimer les dommages ou coûts relatifs à la morbidité due à cette pollution. Nous mettons en lumière dans cette sous-section un certain nombre de travaux afin d'en tirer profit pour notre évaluation dans le cas de la ville de Cotonou. Le tableau 3.1 présente un certain nombre de ces travaux.

<sup>22</sup> Voir le détail de ces faiblesses dans Chanel et al (2004).

De l'analyse de ce tableau, il faut remarquer que dans l'évaluation de la morbidité due à la pollution de l'air, deux principales approches dominent dans la littérature. Il s'agit de l'approche par la fonction dose-réponse et celle d'évaluation contingente. L'approche par la méthode de la fonction de production de santé (MFP) utilisée par Gerking et Stanley (1986) semble ne pas avoir autant d'applications dans les travaux que les deux autres. Avec cette étude, ces auteurs ont dérivé un CAP moyen compris entre 18,45 \$ et 24,48\$, pour une réduction de 30% des concentrations d'ozone. Pour ce faire, ils ont conduit une enquête sur un échantillon de 824 adultes de St Louis aux Etats Unis. La collecte des informations sur la qualité de l'air, la consommation de services médicaux, les prix des services médicaux, le taux de salaire, les caractéristiques sociodémographiques et les mesures du stock de santé; a permis à ces auteurs de faire leur évaluation.

**Tableau 3.1 :** Quelques travaux empiriques sur l'évaluation de la morbidité due à la PA

Auteurs	Approches utilisées	Nature des données et/ou variables utilisées	Résultats obtenus
Gerking et Stanley (1986)	MFP	Données d'enquête sur un échantillon de 824 adultes travailleurs de St. Louis. Variables : qualité de l'air, consommation de services médicaux, prix des services médicaux, taux de salaire, caractéristiques sociodémographiques et les mesures du stock de santé.	Pour une réduction de 30% des concentrations d'ozone, le CAP moyen estimé est compris entre 18,45 \$ et 24,48\$
Berger et al. (1987)	MEC	Données d'enquête sur un échantillon de 262 individus	Le CAP s'élève avec la douleur de la maladie. Ce CAP présente respectivement une valeur de 27\$ et 108\$ pour une journée de rumeur (et un bénéfice économique de 6.79\$) respectivement une journée sans maux de tête (et un bénéfice de 3.45\$).
Krupnick et Portney (1991)	FDR	Données issues des études épidémiologiques et cliniques aux Etats Unis. Ces études ont collecté des informations sur les dépenses médicales et des pertes de revenu liées à la maladie.	Le bénéfice total (ou coût sanitaire) associé à une réduction de la pollution de l'air s'élève à 250 millions de dollars dans le cas des études épidémiologiques. Dans le cas des études cliniques, ce montant est de 800 millions de dollars.
Alberini et al (1997)	MEC	Données d'enquête relatives à une maladie respiratoire aiguë, sur 864 adultes en Taïwan. Variables : nature de la maladie, durée pendant laquelle les répondants ont souffert des symptômes, la sévérité de la maladie, caractéristiques sociodémographiques.	Les bénéfices en terme de valeur de la morbidité suite à d'une réduction de la pollution est d'environ 262,58 millions \$US. Le CAP pour éviter la maladie, augmente avec la durée de la maladie, le nombre de symptômes éprouvés, l'éducation et le revenu
Rabl (1999)	FDR <sup>2</sup>	Données obtenues par le programme Erpurs et de quelques études internationales. L'étude a pris en compte les hospitalisations, les visites médicales, les arrêts de travail, les coûts de traitement et de pertes de productivité	Pour une réduction des concentrations de polluants de 10%, on économise 67 millions F/an du coût des maladies.
Chanel et al. (2000)	MEC	Données d'enquête sur la pollution de l'air en France portant sur les dépenses médicales, les pertes de revenus et des variables sociodémographiques.	Les coûts de la pollution de l'air pour la morbidité atteignent 67,8 milliards.
Rozan (2000)	MEC, MCM	Données d'enquête obtenues sur la communauté urbaine de Strasbourg en 1998 avec 1.000 individus et portant sur la morbidité bénigne. Un certain nombre de variables ont été prises en compte telles que : prix des médicaments, coûts des hospitalisations, coûts des honoraires, coûts d'arrêt de travail et d'absentéisme scolaire.	Le CAP moyen s'élève à 282 F pour l'ensemble de l'échantillon, correspondant au coût privé de la maladie. Le coût privé représente au moins 50% du coût total de la maladie. Par ailleurs le coût médico-social est évalué par pathologie (185F pour le Laryngite/adulte fragilisé).
Erpurs (2003)	FDR	Données du programme Erpurs en Ile de France sur la période 1987-2000, portant sur des indicateurs de pollution (fumées noires, particules fines, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ), le nombre de décès et d'hospitalisations par maladie.	En passant du niveau de base d'un polluant à un niveau médian, on observe des augmentations de :-1,9% des hospitalisations pour BPCO relatifs à l'ozone - 3,3% des hospitalisations dues aux maladies de l'appareil circulatoire, relatives au dioxyde d'azote - 5,1% des hospitalisations pour causes de maladies respiratoires des moins de 15 ans, en rapport avec les particules fines - 7,9% des hospitalisations pour asthme des moins de 15 ans, en rapport avec le dioxyde d'azote.

Auteurs	Approches utilisées	Nature des données et/ou variables utilisées	Résultats obtenus
Maddison (2005)	FDR sous forme de modélisation ARMAX	Séries chronologiques journalières de Londres sur les admissions hospitalières et les polluants atmosphériques, obtenues par « Greater London » de 1992 à 1994, soit une période de 1.096 jours.	Une réduction de 1% des niveaux de PM <sub>10</sub> entraîne une réduction significative de 0,14% dans le nombre des admissions hospitalières respiratoires.
Laid et al. (2006)	FDR	Séries chronologiques journalières portant sur des variables sanitaires issues d'un réseau de médecins en Algérie.	Le nombre de consultations pour cause respiratoire attribuable aux PM <sub>10</sub> s'élève à 439, soit 4,5% du total des consultations.

*Source : Construction de l'auteur*

En ce qui concerne la méthode de la fonction dose-réponse (FDR), il faut noter que les études ayant fait usage de cette dernière (Laid et al., 2006 ; Maddison, 2005 ; Erpurs, 2003, Rabl, 1999, Krupnick et Portney, 1991 ; etc.), se sont basées sur des séries chronologiques. Cela suppose qu'il faut disposer des données sur plusieurs années avant d'utiliser cette approche afin d'avoir des résultats pertinents. Certaines de ces études (Laid et al., 2006 ; Maddison, 2005) ont fait usage des données journalières. Maddison (2005) a fait son étude à Londres sur la base des admissions hospitalières de même que les concentrations des PM<sub>10</sub> alors que Laid et al (2006) en se basant sur des variables sanitaires, ont pu appliquer la méthode FDR dans la ville d'Alger. Pour les évaluations de ce genre, les résultats obtenus sont en termes de nombre de cas attribuables. Par exemple Maddison (2005) trouve qu'une réduction de 1% des niveaux de PM<sub>10</sub> entraîne une réduction significative de 0,14% dans le nombre des admissions hospitalières respiratoires. Dans une même optique, d'autres travaux se sont basés sur des données annuelles ou internationales (Rabl, 1999 ; Erpurs, 2003). Ces études ont tenu compte des indicateurs de pollution tels que les fumées noires, les particules fines, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> ainsi que les variables sanitaires et socioéconomiques. Erpurs (2003) en restant dans la même logique du nombre de cas attribuables, montre qu'une augmentation de polluants d'un niveau de base à un niveau médian entraîne une augmentation d'au moins 2% des cas d'hospitalisations pour chaque type de maladie respectivement. Par contre Rabl (1999) lui trouve qu'une réduction de 10% des concentrations de polluants permet d'économiser 67 millions du coût des maladies. Ces résultats traduisent une fois encore que les maladies dues à la pollution de l'air engendrent d'importants coûts non négligeables. Que ce soit en termes de cas attribuables ou de valeur monétaire, l'évaluation par la méthode FDR donne d'importantes informations sur les coûts de morbidité liée à la pollution atmosphérique. Aussi, faut-il noter qu'une étude réalisée aux Etats Unis (Krupnick et Portney, 1991) en utilisant la même méthode, s'était appuyée sur des données épidémiologiques et cliniques. Les données épidémiologiques ont permis aux auteurs d'obtenir un bénéfice de 250 millions de dollars pour une réduction de la pollution de l'air ; puis les données cliniques les ont conduits à un bénéfice de 800 millions de dollars.

Quant à la méthode d'évaluation contingente, elle connaît beaucoup d'applications depuis son premier usage aux Etats unis par Davis (1963). Cette approche consiste à proposer un marché « contingent » aux agents, dans lequel on leur demande d'opérer un choix, ceci dans le but de connaître le Consentement A Payer (CAP) de l'enquêté. Ainsi, les études évoquées dans cette revue (Berger et al., 1987 ; Rozan, 2000 ; Chanel et al., 2000 ; Alberini et al., 1997) se sont appuyées sur des enquêtes de terrain. En effet, un questionnaire contingent est nécessaire dans la conduite de ces recherches. Les différentes études menées dans ce contexte prennent en compte des variables socioéconomiques, démographiques et sanitaires. Ainsi, Alberini et al. (1997) ont considéré dans leur étude les variables telles que la nature de la maladie, la durée pendant laquelle les répondants ont souffert des symptômes, la sévérité de la maladie, les caractéristiques sociodémographiques. Au niveau de Chanel et al. (2000), en plus des variables sociodémographiques, les dépenses médicales, les pertes de revenus ont été intégrées. Contrairement aux autres auteurs, l'étude de Rozan (2000) s'est intéressée aux maladies bénignes dues à la pollution de l'air. Aussi, faut-il noter qu'elle a pris en compte les variables telles que les prix des médicaments, les coûts d'hospitalisations, les coûts des honoraires, les coûts d'arrêt de travail et d'absentéisme scolaire ; de même que les caractéristiques socioéconomiques des individus. Dans ces divers travaux, la taille de l'échantillon utilisé n'est pas la même. Elle est de 262 chez Alberini et al., 864 chez Chanel et al., puis de

1.000 chez Rozan. Dans toutes ces études, le CAP a servi de base pour dériver le bénéfice économique ou le coût économique. Selon Berger et al., (1987), ce CAP augmente avec la douleur de la maladie et qu'il présente une valeur de 27\$ pour une journée de rhume ; puis une valeur de 108\$ pour une journée sans maux de tête. Le bénéfice économique obtenu par ces auteurs s'élève à 6.79\$ pour le cas du rhume et de 3.45\$ pour le cas sans maux de tête. Toujours en termes de bénéfice, Alberini et al. (1997) trouvent que la valeur de la morbidité suite à une réduction de la pollution est d'environ 262,58 millions \$US. Le CAP pour éviter la maladie, augmente avec la durée de la maladie, le nombre de symptômes éprouvés, l'éducation et le revenu. Par contre, d'après Chanel et al. (2000), les coûts de la pollution de l'air pour la morbidité atteignent 67,8 milliards. Rozan (2000) trouve pour son étude que le CAP moyen s'élève à 282 Francs Français et correspond au coût privé de la maladie. Le coût privé qu'elle obtient représente au moins 50% du coût total de la maladie. Par ailleurs, elle évalue le coût médico-social par pathologie (185F pour le Laryngite/adulte fragilisé). Il est à noter que dans le travail de Rozan (2000), une distinction est faite entre le coût privé (ou coût de la gêne) et le coût médico-social. Et pour ce dernier coût, elle a utilisé la méthode des coûts de la maladie (MCM).

Muller et Mendelssohn (2007), ont mesuré dans leur travail, les dommages liés aux émissions de la pollution de l'air aux Etats Unis. Les auteurs ont utilisé un modèle intégré d'estimation, pour calculer le dommage marginal associé à une émission d'une tonne additionnelle de pollution de plusieurs sources aux Etats Unis. Le dommage total produit par une source est le dommage marginal d'une émission, son prix fantôme, tant que les tonnes totales aient été émises d'une source spécifique. Les dommages totaux additionnels à travers tous les rendements des sources, produisent un montant des dommages annuels bruts, lequel est similaire à la comptabilité verte du PIB. Le dommage annuel brut en 2002 varie entre 71 milliards \$ et 277 milliards \$ (ce qui représente entre 0,7% et 2,8% du PIB). La gamme des valeurs dépend de la valeur de la santé et de la fonction concentration-réponse reliant les expositions de particules fines aux taux de mortalité adulte.

Il est à noter que les différentes variables (variables socioéconomiques, variables démographiques etc.) auxquelles les divers auteurs cités ci-dessus ont fait allusion sont pratiquement celles évoquées par Gastineau et al. (2007).

### 3.2 Evaluation des Coûts de morbidité due à la pollution de l'air à Cotonou

Dans cette section il s'agit pour nous d'estimer de façon empirique ce que coûtent les cas de maladies liées à la pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou. Cette évaluation prend en compte le coût médico-social (coût de traitement, d'hospitalisation etc.) et le coût de la souffrance liée à la maladie. Nous utilisons dans ce cadre la méthode de coût de la maladie et celle d'évaluation contingente. La première permet l'estimation du coût médico-social tandis que la deuxième aide à dériver le coût de la gêne ou souffrance liée au fait d'être malade. Dans un premier temps, nous procédons à l'évaluation du coût de la gêne puis dans un second temps nous abordons l'estimation du coût médico-social.

#### 3.2.1 L'évaluation du coût de la souffrance liée à la maladie

Pour parvenir à cette évaluation, un questionnaire d'enquête a été nécessaire (voir annexe 2). Ce questionnaire détaille les variables explicatives ainsi que celle expliquée dont la valeur permet une estimation du coût de la souffrance. Il s'agit d'un questionnaire d'évaluation contingente. Avant de décrire la méthodologie du questionnaire, nous présentons d'abord la méthode d'échantillonnage utilisée.

##### 3.2.1.1 L'échantillonnage

Il n'est pas aisé d'observer toute la population des chefs de ménages de la ville de Cotonou, qui constitue notre univers d'étude. Pour ce faire, nous avons constitué un échantillon globalement représentatif en

fonction de l'objet de l'étude et des caractéristiques correspondantes de la population cible. Dans le cadre de cette thèse, nous avons procédé par sondage empirique. L'impossibilité d'avoir une base de sondage appropriée à notre étude justifie fondamentalement notre choix. Selon Ardilly (1994), il existe deux principaux types de sondages empiriques : la méthode des quotas et la méthode des unités types. La méthode des quotas est celle empirique la plus fréquemment utilisée. D'après Gauthy-Sinéchal et Vandercammen (2010), cette méthode repose sur le postulat ci-après : *si l'échantillon reproduit fidèlement certaines caractéristiques de la population étudiée, il sera également représentatif pour d'autres caractéristiques non contrôlables mais qui sont l'objet même de l'enquête*. Pour eux, dans cette méthode, la difficulté est de déterminer avec exactitude les variables à retenir et de trouver, dans la population, les proportions exactes d'unités présentant ces caractéristiques. Dans une logique de contrainte de précision, la taille de l'échantillon est obtenue d'une façon précise.

Avec une erreur absolue fixée à E et pour un niveau de confiance de 95%, étant donné que la taille N de la population mère est suffisamment grande, alors, on adopte que la taille n de l'échantillon selon Ardilly (1994) est approximativement égale à :  $n = \frac{1}{E^2}$

Dans le présent travail, la taille de l'échantillon retenue est de 600 individus. Cette taille correspond à une erreur absolue d'environ 4,10%. Dans la ville de Cotonou, 74,10% des hommes sont des chefs de ménage et 25,90% sont des femmes sur une population de 426.220 hommes et de 436.225 femmes en 2010 (INSAE, 2008). Le tableau ci-dessous présente les proportions des chefs de ménage par zone au Bénin et dans le département du Littoral (Cotonou).

**Tableau 3.2 :** Répartition des chefs de ménage par zone et dans le Littoral

Zones	Hommes	Femmes
Zone urbaine	75,4%	24,6%
Zone rurale	78,9%	21,1%
Littoral	74,1%	25,9%
Bénin	77,5%	22,5%

*Source : INSAE/EDS, 2006*

D'après les statistiques de l'INSAE (2008) et les données de la mairie de Cotonou sur les taxi-motos (voir annexe 1) selon lesquelles environ 47,06% des hommes supposés chefs de ménage sont conducteurs de taxi-motos ; la répartition des chefs de ménage dans l'échantillon d'étude se présente comme le présente le tableau 3.3.

**Tableau 3.3:** Composition de l'échantillon d'étude

CHEFS DE MENAGE	HOMMES	FEMMES	TOTAL
CONDUCTEURS TAXI MOTOS	209	0	<b>209</b>
NON CONDUCTEURS TAXI MOTOS	236	155	<b>391</b>
<b>TOTAL</b>	<b>445</b>	<b>155</b>	<b>600</b>

*Source : Construction de l'auteur*



Cette structuration de la population de la ville nous paraît fondamentale du fait que les conducteurs de taxi-motos sont plus exposés à la pollution atmosphérique compte tenu de leur activité. Cet état de chose se confirme par les différents travaux de recherche réalisés sur la ville et portant sur ces conducteurs (Avocè Viagannou, 2002 ; Houéssouvi, 2008 ; Kouchadé, 2000 ; Gounongbé, 1999 etc.).

Les unités statistiques qui constituent l'échantillon ont été choisies au hasard dans huit arrondissements sur les treize que compte la ville de Cotonou (les arrondissements concernés sont spécifiés au point 3.2.1.3). Les ménages de ces arrondissements représentent valablement la population concernée par notre étude. Il est tenu compte des proportions des ménages (voir annexe 3.1) par arrondissement considéré, dans l'échantillon constitué.

Afin de comprendre le comportement de la population cible face aux effets de la pollution de l'air, un questionnaire d'évaluation contingente correspondant est méthodiquement élaboré.

### 3.2.1.2 La méthodologie du questionnaire d'enquête

Dans une approche d'évaluation par la MEC, le questionnaire est fondamental. Ainsi, notre questionnaire a été élaboré en tenant compte des principaux biais inhérents à la méthode. Ces biais mis en exergue par Mitchell et Carson (1989) ont été synthétisés récemment par Bontems et Rotillon (2007). Il s'agit notamment du biais stratégique, des biais liés à l'administration du questionnaire, du biais hypothétique et de l'effet d'inclusion. Un effort de minimisation des différents biais a été fait.

D'abord, dans les questions posées, les recommandations de N.O.A.A Panel ont été suivies. Ainsi, les questions pour la plupart sont fermées et suivies par endroit de quelques questions ouvertes. De même, le scénario décrit est compréhensible par la population, qui est bien familiarisée au problème de la pollution atmosphérique. Pour l'évaluation du coût de la souffrance liée à l'état morbide des individus, la partie du questionnaire, qui prend en compte cet aspect est décomposée en trois sous-parties. La première sous-partie est relative à des caractéristiques du répondant (sexe, âge, niveau d'instruction, catégorie socioprofessionnelle, situation matrimoniale). La deuxième sous-partie regroupe d'une part, les questions liées aux effets morbides et celles mettant en lumière la perception qu'ont les ménages de la PA ; et d'autre part les questions relatives à la révélation du CAP en fonction de la gêne ressentie par le répondant. Concernant ce volet sur le CAP, le scénario décrit se présente dans l'encadré 1. Quel que soit le choix fait par le répondant selon le scénario, une question supplémentaire lui est posée sur son CAP maximal. La troisième sous-partie fait cas d'autres caractéristiques du répondant (revenu mensuel, être fumeur, sources d'énergie utilisées, quelques dépenses du ménage).

Ensuite, le questionnaire a bénéficié des observations enrichissantes d'une spécialiste économiste démographe du Centre de Formation et de Recherche en matière de Population (CEFROP) et des statisticiens de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). Les contributions des collègues spécialistes de l'économie de la santé et de l'économie de l'environnement n'en demeurent pas moins enrichissantes. Il faut noter que le questionnaire a été lu et corrigé par le spécialiste des questions d'enquêtes de terrain, Bernard Lacombe<sup>23</sup>. D'après les approches méthodologiques de pratique de terrain dont nous sommes inspirées dans Lacombe (1997), notre questionnaire a connu une amélioration. Après la prise en compte des différentes observations, le questionnaire définitif retenu a servi à la formation des agents enquêteurs recrutés pour la circonstance.

Enfin, une formation a été donnée aux agents enquêteurs recrutés à cet effet. Cette formation a eu lieu le 28 Août 2010 au Centre d'Etudes, de Formation et de Recherche en Développement (CEFRED) à Cotonou. A l'issue de cette formation, un pré-test a été fait pour s'assurer de la compréhension du

23 Bernard LACOMBE est un anthropologue spécialiste des questions d'enquêtes de terrain, que nous avons eu la chance de rencontrer en personne lors de son passage au CEFRED à Cotonou en 2010, dans le cadre d'un séminaire sur la rédaction d'ouvrages scientifiques.

questionnaire par la population. Ce test a porté sur quinze répondants dont 8 femmes et 7 hommes. Les différents rapports de fin d'interview issus du pré-test ont prouvé que les répondants vivent réellement le phénomène de la pollution de l'air à travers les nuisances qu'elle crée. Ces rapports nous ont permis de donner des précisions sur la manière dont certaines questions doivent être abordées lors de l'administration du questionnaire définitivement retenu.

### **Encadré 1 : Scénario contingent relatif à la morbidité**

Tout le monde a droit de respirer de l'air pur. Or il a été démontré qu'il y a une relation entre la pollution de l'air et l'occurrence des maladies énumérées telles que : la toux, les maux de tête, les maladies respiratoires, les maladies cardiaques, les maux d'yeux, l'asthme etc. Le risque de revivre ces maladies peut être réduit grâce à un vaste programme de lutte contre la dégradation de la qualité de l'air. Ceci permettra d'améliorer et de préserver la santé de la population.

Nous vous proposons deux cas :

Cas 1 : La qualité de l'air à Cotonou se dégrade. Dans ce cas votre état de santé se dégrade à cause des maladies liées à la pollution de l'air, puis vous êtes sans réaction en ne supportant aucun coût financier ; mais la qualité de l'air ne s'améliore pas.

Cas 2 : Vous acceptez de contribuer au financement d'un programme d'amélioration de la qualité de l'air. Ici, vous supportez un coût financier mais l'occurrence de certaines maladies va s'atténuer et votre état de santé va s'améliorer également.

Lequel des deux cas préférez vous ?

Si choix = Cas 2,

Nous vous présentons le scénario suivant :

Une bonne partie des maladies dont vous avez souffert est due à la pollution de l'air. Si la pollution était réduite de moitié, sur un horizon de 5 ans, les risques de souffrir des maux directement liés à la pollution seront réduits de moitié également.

Serez-vous prêt à payer au moins par mois durant les 5 ans que durera le projet (montrer la carte de paiement): 500FCFA, 1.000FCFA, 1.500FCFA, 2.000FCFA, 2.500FCFA, 3.000FCFA, 3.500FCFA, 4.000FCFA, 4.500FCFA, 5.000FCFA, 5.500FCFA, 6.000FCFA ?

Si choix = Cas 1, quelles sont les raisons de votre choix ?

#### **3.2.1.3 L'administration du questionnaire et la base de données**

Le questionnaire (en annexe 2) décrit ci-haut a été administré du 31 Août au 4 Octobre 2010 dans les arrondissements 1, 3, 5, 6, 7, 9, 11 et 12 sur le total de treize que compte la ville (voir carte ci-dessous).



Source : Site internet de l'école Montaigne, consulté le 29-02-12

Les agents enquêteurs, préalablement formés, sont allés dans chaque arrondissement concerné par binôme. Chaque équipe est composée d'un titulaire du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en économie qui en est le chef et d'un membre de niveau BAC + 2 ou BAC + 3. Tous les chefs d'équipe sont des hommes et les membres sont des femmes. Le choix des chefs d'équipe de cette qualification a été fait compte tenu de la spécificité du questionnaire contingent et de leurs connaissances non moins importantes des questions de terrain à Cotonou. Tout ceci nous permet de minimiser le taux de non-réponse et le risque de questionnaires mal remplis.

Pendant tout le temps de cette administration du questionnaire, nous avons essayé d'apporter des solutions aux quelques difficultés mineurs rencontrées par les équipes, soit par téléphone ou au moment de la centralisation des questionnaires du jour. Les problèmes rencontrés par les équipes sur le terrain ne sont pas de grande importance compte tenu des instructions reçues par celles-ci à l'issue du pré-test. La seule difficulté sérieuse rencontrée est celle de retrouver des chefs de ménage femmes dans chaque zone. Or, la stratégie d'administration du questionnaire mise en place a facilité la résolution de ce problème. Ainsi, le chef d'équipe s'informe pour avoir ces répondants au fur et mesure que l'équipe parcourt sa zone.

Il est à noter que le choix des enquêtés (chefs de ménage) a été fait de façon aléatoire dans chaque zone, en partant du chef lieu d'arrondissement tout en prenant en compte la répartition des chefs de ménage par arrondissement dans ladite ville, présentée en annexe 3.1.

Lors du déroulement de l'enquête, le masque de saisie des données a été appretté. Pour ce faire, nous avons reçu l'aide d'un statisticien spécialiste. Ce travail est fait avec le Logiciel CSPro. Une fois l'enquête terminée, nous sommes passés au dépouillement et à la saisie des données. Nous avons recruté deux agents pour la saisie qui ont reçu une initiation à l'usage du Logiciel CSPro. Des deux agents, l'un a été chef d'équipe pendant la phase de terrain ; et l'autre (une femme) a reçu des explications sur le questionnaire. Nous rappelons que ces deux agents qui nous ont aidé dans cette tâche, sont des titulaires de DEA en économie. La saisie des données n'a pas pris en compte les questionnaires qui posent un peu de problème, c'est-à-dire soit mal remplis, soit des incohérences sont notées. Ceci a conduit à un nombre donné de questionnaires saisis. Ainsi, les répondants inscrits dans la base de données se présentent comme suit, selon l'examen sur la variable sexe (annexe 4.8):

Tableau 3.4 : Répartition des répondants selon le sexe

Modalités	Nombre	Pourcentage
Femmes	146	25%
Hommes	438	75%
Total	584	100%

Source: Résultats d'enquête

Il ressort de l'analyse de ce résultat sur la variable sexe, que sur les 600 questionnaires, 584 sont réellement traités. Sur ces 584 individus enregistrés; 438 répondants sont des hommes (75 %) et 146 sont des femmes (25%). Par rapport aux prévisions qui étaient de 445 hommes et 155 femmes, ces résultats sont globalement satisfaisants car ils corroborent la répartition des chefs de ménage dans la ville de Cotonou. Ainsi, la taille de l'échantillon pris en compte dans les analyses de nos données est de 584.

La vérification de la base de données ainsi obtenue a été faite pour corriger les éventuelles erreurs de saisie. Les données de la base sont traitées fondamentalement à l'aide du Logiciel STATA 10. Les variables de la base permettent l'estimation du coût de morbidité. Une description de ces variables est nécessaire.

#### 3.2.1.4 La description des variables

Dans les travaux (Rozan, 2000 ; N'Guessan, 2008 ; Desaignes et al. 2007 ; etc.) relatifs à l'usage de la MEC pour les évaluations considérées dans le cadre de cette thèse, les variables qui sont souvent prise en compte sont celles relatives aux caractéristiques socio-économiques ou démographiques d'une part, et d'autre part celles liées aux spécificités du bien à évaluer (ici il y a les variables liées par exemple à l'état de santé, le fait de rendre visite à un médecin, etc.).

Les principales variables utiles à l'estimation du CAP moyen représentant le coût de la gêne sont les variables socio-économétriques des répondants. Nous considérons les variables suivantes :

- le sexe (**sex**) qui est une variable qualitative dichotomique. Elle ne prend que deux modalités (1 = Masculin et 0 = Féminin).
- l'âge (**age**) qui est une variable continue. Ses modalités dépendent de l'âge révolu du répondant exprimé en année. Elle peut être transformée en intervalles de classes si les tranches d'âge sont considérées.
- l'âge au carré (**agecar**) ; c'est une variable qui prend en compte l'effet non linéaire de l'âge.
- la durée d'habitation (**durhabit**) ; est une variable dichotomique qui prend la valeur 1 si la durée est d'au moins un an et 0 dans le cas contraire.
- le temps d'habitation (**tempshabit**) qui est une variable continue correspondant au nombre d'années passé par le répondant dans la ville de Cotonou.
- la profession (**profession**) ; c'est une variable qualitative qui retrace les catégories socioprofessionnelles des répondants. Elle prend sept modalités (voir questionnaire en annexe 2.1)

- le niveau d'étude (**nivetude**) qui est une variable qualitative. Elle prend quatre modalités (primaire, secondaire, supérieur, aucun).
- le revenu mensuel du répondant (**tranchrev**) ; c'est une variable quantitative continue. Les revenus sont regroupés par tranches. Nous avons défini neuf tranches de revenu (voir annexe 2.1).
- l'état de santé il y a deux mois (**etatsante**) est une variable qualitative dichotomique qui prend la valeur 1 si le répondant a souffert d'une maladie gênante deux mois avant l'enquête, et la valeur 0 sinon.
- le consentement à payer mensuel (**capmois**) qui est une variable quantitative discrète prenant des valeurs figurant sur la carte de paiement (voir annexe 2.).
- la situation matrimoniale du répondant (**situamatrim**) qui est une variable qualitative avec quatre modalités (célibataire, marié, divorcé et veuf).
- la visite à un médecin (**visitmedic**) qui est une variable dichotomique prenant la valeur 1 si le répondant rend visite à un médecin et 0 sinon.
- le répondant fumeur (**fumeur**) ; c'est une variable qualitative dichotomique qui prend la valeur 1 si l'individu fume la cigarette et 0 sinon.
- le déménagement du répondant (**projdemenagpoll**) est une variable dichotomique qui prend la valeur 1 lorsque l'individu a un projet de déménager pour cause de pollution de l'air et 0 dans le cas contraire.

Les différents effets attendus des variables explicatives de la variable expliquée capmois, sont présentés dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Les variables explicatives et effets attendus

Variabiles	Effets attendus
sex	Indéterminé
age	Indéterminé
profession	Indéterminé
tempshabit, durhabit	+
tranchrev	+
nivetude	Indéterminé
situamatrim	Indéterminé
visitmedic	+
Fumeur	+
etatsante	+
projdemenagpoll	-

Source : Construction de l'auteur

Les effets indéterminés supposent qu'il n'est pas aisé de faire une prédiction sur les effets des différentes variables concernées sur la variable « capmois ». La variable « tempshabit » ou « durhabit », traduisant la durée de temps passé dans la ville, aura un effet positif ; cela suppose, que l'individu qui dure plus dans ville sera amené à donner un CAP mensuel plus élevé. Une augmentation du CAP mensuel sera enregistrée si le revenu (tranchrev) de l'individu augmente, ou s'il rend visite à un médecin (visitmedic) ou lorsqu'il reconnaît avoir souffert d'une maladie gênante (etatsante), ou s'il est fumeur. Mais lorsque l'individu a un projet de déménager (projdemenagpoll), son CAP mensuel serait plus faible. En ce qui concerne la variable « age » il faut noter que selon Phelps (1995), l'état de santé de l'individu se dégrade avec l'âge et donc il accorde plus d'importance à sa santé dans la vieillesse; par conséquent il a tendance à contribuer plus qu'un jeune. D'un autre point de vue, on peut dire qu'un individu qui prend de l'âge a une productivité du travail faible par rapport au jeune et du coup son revenu pourra être faible ; de là le CAP du répondant âgé peut diminuer.

Dans le cadre de l'évaluation du coût de la souffrance, il est normal de comprendre comment les variables se présentent-elles. Une description de ces variables, après l'enquête de terrain, est nécessaire.

### 3.2.1.5 Les statistiques descriptives

Dans cette sous section, il s'agit de décrire les variables à l'aide des tableaux ou des graphiques. Premièrement, nous décrivons les variables relatives aux caractéristiques socioéconomiques des répondants. Deuxièmement, nous nous penchons sur la description des autres variables.

#### 3.2.1.5.1 Les caractéristiques socioéconomiques des chefs de ménages

Les variables qui retracent les caractéristiques socioéconomiques des répondants sont : le sexe, l'âge, le niveau d'études, la situation matrimoniale, la profession, le revenu, le temps d'habitation. Un examen sommaire sur ces variables donne les résultats de l'annexe 3.11.

D'après ces résultats, les répondants ont un âge compris entre 18 ans et 82 ans ; et l'âge moyen est d'environ 38 ans. Le temps d'habitation dans la ville de Cotonou par les répondants, varie de 0,25 an (3 mois) à 68 ans. Le temps moyen d'habitation dans la ville est d'environ de 22 ans. Ce temps moyen suffit largement pour se rendre compte d'éventuels risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique.

De plus, 25% environ des répondants ont un âge compris entre 30 ans et 35 ans (annexe 4.2). L'âge modal est de 35 ans et correspond aussi à l'âge médian, d'après les résultats en annexe 4.1. Le temps d'habitation dans la ville a une valeur modale de 20 ans, ce qui correspond à la une valeur médiane (voir annexe 4.5).

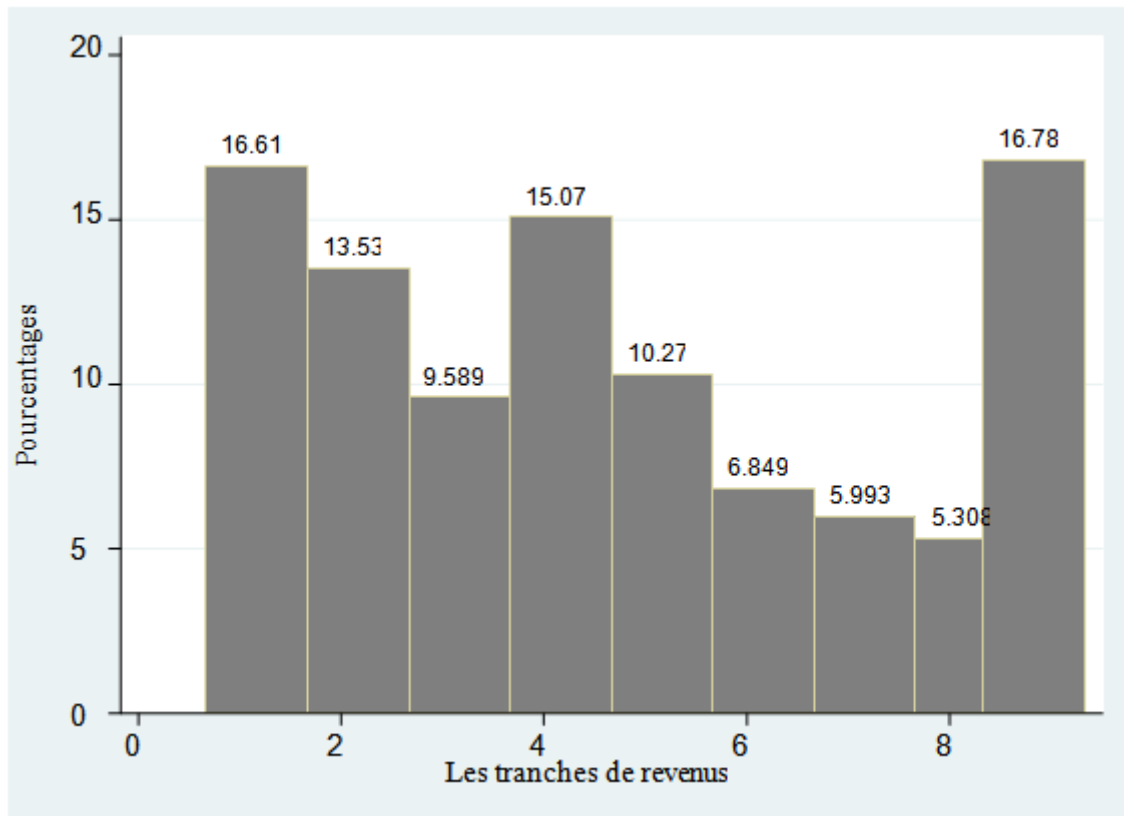
Au niveau de la profession d'après l'annexe 4.4, on note que les individus qui sont dans des professions libérales viennent en tête (43% environ), suivis des conducteurs de taxi-moto appelés « zémidjans » avec une fréquence d'environ 35%. La plupart des répondants sont d'un niveau d'éducation secondaire (à peu près 41%) ; ceux du niveau d'éducation primaire représentent environ 32%. Les individus qui n'ont aucun niveau d'éducation représentent 14% et ceux d'un niveau d'éducation supérieur sont dans une proportion de 13% (voir annexe 4.6). Aussi, faut-il noter que les répondants sont pour la plupart des mariés (68%), 20% sont des célibataires, puis les divorcés de même que les veufs représentent respectivement 6% (voir annexe 4.7).

Nous rappelons également que 75% des répondants sont des hommes et 25% des femmes (annexe 4.8).

Concernant la variable représentant le revenu « tranchrev », les résultats (annexe 4.3) montrent qu'environ 17% (97 répondants pour la première tranche et 98 pour la deuxième tranche) respectivement ont un revenu moins de 30.000 FCFA puis plus de 100.000 FCFA. 14% des revenus sont compris

entre 30.001 FCFA et 40.000 FCFA. 9% à peu près des revenus sont entre 40.001 FCFA et 50.000 FCFA ; 15% sont entre 50.001 FCFA et 60.000 FCFA. Les revenus compris entre 60.001 FCFA et 70.000 FCFA représentent 10% tandis que ceux compris 70.001 FCFA et 80.000 FCFA, 80.001 FCFA et 90.000 FCFA, 90.001 FCFA et 100.000 FCFA représentent respectivement 7%, 6% puis 5%. Le graphique 3.1 élaboré à partir des résultats d'enquête, donne l'illustration de ces fréquences.

Graphique 3.1 : Histogramme de fréquences des tranches de revenus



*Source* : Construction de l'auteur à partir des données d'enquête

En dehors des variables dont nous avons fait cas précédemment, d'autres variables d'intérêt sont nécessaires pour l'analyse. Il est normal de présenter les caractéristiques de ces variables.

### 3.2.1.5.2 Les caractéristiques des autres variables

Une description des autres variables susceptibles d'expliquer le CAP des répondants est nécessaire ; ainsi que la variable traduisant le CAP lui-même. Il s'agit ici des variables suivantes: « fumeur », « etatsante », « visitmedic », « projdemenagpoll » et « capmois ».

D'après l'annexe 4.9, sur les 584 questionnaires ; 88,34% des répondants sont non fumeurs contre 11,64% de fumeurs. Ce résultat montre que seulement 12% environ des chefs de ménage de la ville de Cotonou fument une cigarette.

Selon l'enquête réalisée, les populations ont déclaré un certain nombre de maux dont elles ont soufferts deux mois avant le passage des enquêteurs, à savoir : la toux, les maux de tête, les maux de gorge, l'irritation des yeux, l'écoulement du nez, les douleurs respiratoires, la fièvre, la bronchite, les crises cardiaques et l'asthme. Chaque répondant a été amené à déclarer la maladie qui l'a le plus gêné. Ainsi, les résultats en annexe 4.10 montrent combien d'individus ont fait de déclaration pour chaque type de maladie. A partir des variables représentant les maux gênants, nous avons généré la variable « etatsante »

qui prend la valeur 1 lorsque l'individu déclare une maladie gênante et la valeur 0 dans le cas contraire. Pour ce faire, des résultats de l'annexe 4.11, il résulte que 72% environ des chefs de ménage ont déclaré une maladie gênante contre 28% à peu près qui n'ont pas fait de déclaration.

Certains des répondants ayant souffert d'au moins un mal, ont reconnu avoir rendu visite à un médecin, soit une proportion d'environ 41% selon l'annexe 4.12 relatif à l'examen de la variable « visitmedic ». Ce pourcentage peut s'expliquer par le fait qu'un nombre important d'individus font une consultation médicale bien que la plupart des maux spécifiés constituent des maladies bénignes. Les 59% restants représentent ceux qui n'avaient fait aucune déclaration de symptôme ou d'aucune maladie particulièrement gênante.

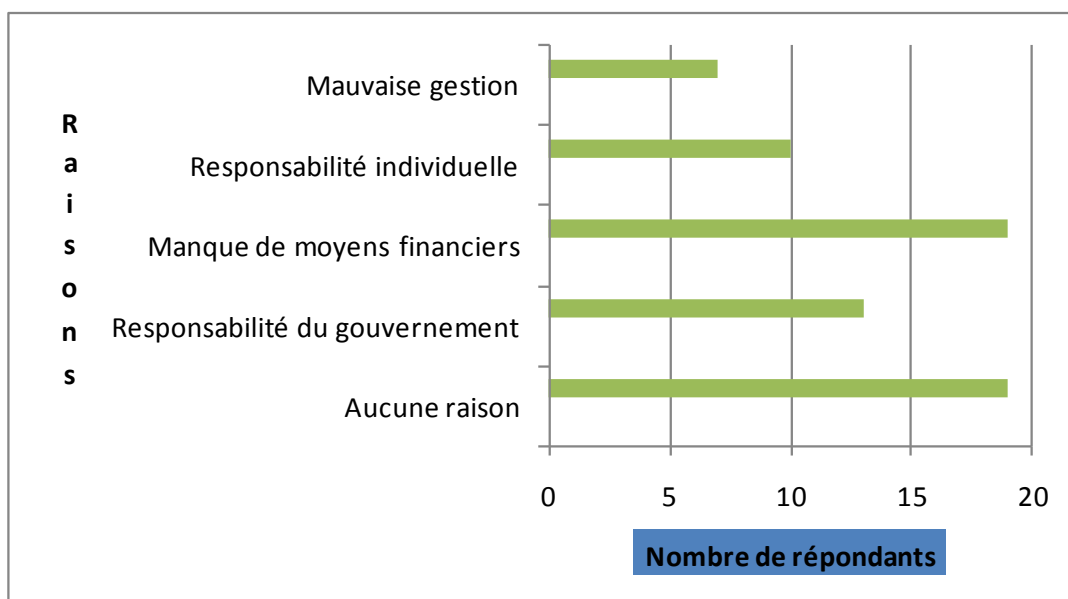
Compte tenu de la situation de la PA, il a été demandé aux ménages s'ils souhaiteraient déménager totalement de la ville. Les statistiques sur la variable « projdemenagpoll », montrent que 41,44% des répondants ont un projet de déménager de la ville de Cotonou pour raison de la pollution de l'air. Les autres (58,56%) n'ont aucun projet de déménager (voir annexe 4.13).

D'après l'annexe 4.14, la variable qui retrace le consentement à payer mensuel des individus (capmois) varie entre 0 FCFA et 6.000 FCFA. La plupart des répondants (environ 37%) ont choisi la première valeur sur la carte de paiement (500 FCFA). A peu près 12% des chefs de ménage ont un consentement nul (68 répondants), ce qui signifie qu'ils n'ont pas choisi de contribuer à un programme de lutte contre la PA. Aucun individu n'a choisi les valeurs 4.500 FCFA et 5.500 FCFA. Le CAP moyen d'après les statistiques descriptives est d'environ 1.189 FCFA avec un écart type d'environ 1.256; le CAP médian est de 1.000 FCFA. Environ 23% des répondants ont choisi un CAP de 1.000 FCFA. 2% des personnes enquêtées ont choisi la valeur maximale de la carte de paiement (6.000 FCFA). 12% environ des chefs de ménage sont prêts à payer 2.000 FCFA.

### 3.2.1.5.3-Le traitement des CAP nuls

Dans une évaluation contingente, les choix zéros faits par des répondants peuvent traduire une vraie valeur ou non. Il peut s'agir des réponses de protestations ou contestations. Dans notre travail, nous avons utilisé une carte de paiement qui ne prend pas en compte la valeur zéro ; mais le scénario présenté nous permet d'attribuer cette valeur à tous les répondants qui ont choisi le cas 1 (encadré1). Ainsi, pour ceux qui ont fait ce choix, il leur a été demandé de donner les raisons de leur choix. Le graphique 3.2 présente la répartition des individus à CAP nuls (voir annexe 5.1).

Graphique 3.2 : Diagramme à barres des raisons des CAP nuls



Source : Construction de l'auteur à partir des données d'enquête



Sur ce graphique, on constate que les raisons évoquées par les chefs de ménage sont globalement réparties en cinq catégories. Les répondants qui n'ont spécifié aucune raison et ceux qui ont évoqué le manque de moyens financiers sont les plus nombreux (28% des individus dans chaque catégorie). Ces derniers sont suivis de ceux qui ont évoqué la responsabilité du gouvernement (19% des répondants). Les répondants qui pensent que chaque citoyen doit prendre ses responsabilités et ceux qui évoquent les problèmes de mauvaise gestion, sont respectivement 15% et 10%. Au total, 68 CAP sont nuls ce qui représentent une proportion de 12% environ.

### 3.2.1.6 L'estimation du CAP dans le cas de la morbidité

Eu égard à ce qui précède, la variable dépendante CAP traduisant le consentement à payer des individus, contient des zéros valides. Ses valeurs sont comprises dans l'intervalle  $[0, 6.000[$ . Les valeurs de cet intervalle de la variable dépendante sont supérieures ou égales à zéro. Il est possible de faire recours à un modèle Tobit censuré. Ce modèle est utilisé lorsqu'on se trouve dans une situation où la variable dépendante prend zéro pour un nombre important d'observations (Greene, 2005 ; Kobou et al, 2009). L'utilisation d'un modèle Tobit censuré se justifie, pour expliquer le CAP des individus. Pour certains auteurs (N'Guessan, 2008 ; Liu et Relly, 2004), le choix du modèle économétrique dépend de l'hypothèse retenue dans le processus d'annonce du CAP. Ainsi, selon eux, on peut utiliser la procédure en deux étapes de Heckman (1979) ou un Tobit censuré simple. En supposant que les raisons évoquées par les individus découlent d'un comportement rationnel, les CAP nuls résultant du refus de participer au programme de lutte contre la réduction des souffrances dues à l'état morbide, sont alors considérés comme des vrais zéros. Ainsi, le Tobit censuré permet de faire l'estimation.

#### 3.2.1.6.1 La présentation du modèle Tobit censuré

Pour faire l'analyse d'une distribution censurée, la formulation du modèle est faite en utilisant une variable latente. Ainsi, si  $CAP_i$  représente le CAP d'un individu  $i$ , le modèle peut s'écrire :

$$\begin{cases} CAP_i^* = X_i\beta + \varepsilon_i \\ Avec \begin{cases} CAP_i = CAP_i^* & \text{si } CAP_i^* > 0 \\ CAP_i = 0 & \text{si non} \end{cases} \end{cases} \quad [M 2.1]$$

Dans cette spécification,  $X_i$  est le vecteur des variables explicatives décrites au point 3.2.1.4) ;  $\beta$  représente le vecteur des paramètres à estimer et  $CAP_i^*$  est la variable latente. Les erreurs sont supposés normalement distribuées. L'estimation dudit modèle passe par la méthode du maximum de vraisemblance. Ainsi, la log-vraisemblance pour le modèle Tobit censuré s'écrit :

$$\ln L = \sum_{CAP_i=0} \ln \left[ 1 - \Phi \left( \frac{X_i\beta}{\sigma} \right) \right] + \sum_{CAP_i>0} -\frac{1}{2} \left[ \log(2\pi) + \ln \sigma^2 + \frac{(CAP_i - X_i\beta)^2}{\sigma^2} \right] \quad [M 2.2]$$

Dans cette égalité,  $\sigma$  désigne l'écart-type. La maximisation de cette log-vraisemblance [M 2.2] permet d'estimer les paramètres du modèle [M 2.1]. Les variables explicatives du modèle méritent d'être examinées afin de prendre en compte un certain nombre de biais notamment le biais d'endogénéité.

### 3.2.1.6.2 Problème et test d'endogénéité

Généralement en microéconométrie, l'endogénéité constitue une préoccupation non moins importante. En réalité, elle est centrale à la microéconométrie. Pour Lollivier (2001), l'endogénéité peut conduire à des biais importants dans l'estimation des comportements. Ce problème d'endogénéité apparaît lorsqu'il y a corrélation entre les variables explicatives et le terme d'erreur. Les sources habituelles de ce problème sont : l'omission des variables, les erreurs de mesure et la simultanéité. En présence d'endogénéité, la principale difficulté est celle du choix des instruments à utiliser pour sa correction.

En fonction des variables explicatives que nous avons retenues pour l'explication du CAP, la variable « revenu » est soupçonnée d'endogène car elle semble être corrélée avec un certain nombre d'autres variables explicatives. Pour ce faire, un test d'endogénéité est nécessaire. Mais d'après les caractéristiques sur la variable revenu, les tranches de revenus ont été prises en compte conformément au questionnaire. L'utilisation de cette variable dans le modèle économétrique étant délicate, nous avons d'abord généré une autre variable revenu (**rev**) représentant les centres des différentes tranches de revenus (autrement dit, le revenu moyen par tranche). L'examen de cette nouvelle variable se trouve en annexe 5.2. Ainsi, nous disposons d'une variable revenu continue avec laquelle nous avons fait le test d'endogénéité dont les résultats sont présentés en annexe 5.3. Pour ce test, nous avons régressé à l'aide de la Méthode des Moindres Carrés (MCO), la variable revenu (**rev**) sur un certain nombre de régresseurs (les variables socioéconomiques susceptibles d'être corrélées avec le revenu, selon la littérature) et récupéré les résidus qui constituent la variable « Residu ». Cette dernière est introduite comme variable explicative dans le modèle Tobit censuré à la place de la variable « rev ». De l'analyse des résultats du test d'endogénéité, il ressort que la variable revenu est bien endogène.

### 3.2.1.6.3 Les déterminants du CAP et dérivation du CAP moyen

La prise en compte de l'endogénéité nous amène à estimer le modèle [M1.2] sous STATA 10, par un Tobit avec variable endogène. Cette estimation permet d'identifier les variables déterminantes du CAP. Les résultats de cette estimation issus du logiciel STATA 10 (annexe 5.4), se résument dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Déterminants du CAP mensuel

Variables	Coefficients	Ecart-types
Rev	0,038875***	0,0050
age	-35,74973***	35,1614
agecar	0,253972**	0,3916
fumeur	356,1625	182,3019
sex	-355,7461***	150,4029
projdemenagpoll	133,4575**	122,3881
tempshabit	-0,6899899**	4,9302
constant	-113,2624	684,2152

Nombre d'observations: 584  
 Nombre d'observations censures à gauche: 68  
 Nombre d'observations non censurées : 516  
 Nombre d'observations censurées à droite : 0  
 Wald chi2(7) : 84,57 Prob > chi2 : 0,0000  
 Test d'exogénéité de Wald : chi2(1) : 23,52 ; Prob > chi2 : 0,0000

**Note :** Variable dépendante : capmois ;  
 \*\*\* significatif à 1% ;  
 \*\* significatif à 5%

*Source :* Résultats d'estimation du Tobit censuré

Il ressort de ce tableau que le modèle estimé est globalement significatif au seuil de 1%, car  $[\text{Prob} > \text{Chi}2] < 0,01$ . Pour ce qui est de la significativité des variables explicatives, il est nécessaire de faire des tests d'hypothèses sur chacune d'elle.

### Tests d'hypothèses

Après l'estimation du modèle Tobit censuré, il est normal de tester la significativité des coefficients obtenus. Pour se faire, nous avons effectué un test de Wald. Ce test nous permet de voir si chaque coefficient est significativement différent de zéro. Les résultats de ce test se trouvent en annexe 5.5. Le tableau 3.7 présente un résumé de ces résultats.

Tableau 3.7 : Résumé des résultats des tests de Wald

Variables	Chi2 (ddl)	Prob > Chi2
Rev	60,65 (1)	0,0000
Age	9,50 (2)	0,0087
Agecar	6,47 (2)	0,0394
Fumeur	3,84 (2)	0,1465
Sex	12,42 (2)	0,0020
projdemenagpoll	6,34 (2)	0,0420
Tempshabit	7,88 (2)	0,0194

*Source :* Extrait de l'annexe 5.5

Au regard de ces résultats, l'effet de chacune des variables revenu, âge et sexe ; est significativement non nul avec un seuil de 1% ( $[\text{Prob} > \text{Chi}2] < 0,01$ ). Les variables traduisant l'âge carré, le projet de déménagement pour cause de pollution et le temps d'habitation dans la ville de Cotonou ont également un effet significatif non nul dans l'explication du CAP mensuel, avec un seuil de significativité 5% ( $[\text{Prob} > \text{Chi}2] < 0,05$ ).

### *Interprétation des coefficients*

Il s'agit d'interpréter les coefficients des variables significatives après l'estimation du modèle Tobit censuré. Ainsi, d'après le tableau 3.5 qui résume les résultats de cette estimation, certaines variables ont des coefficients positifs tandis que d'autres en ont de négatifs. Les variables significatives telles que le revenu (rev), l'âge au carré (agecar) et le projet de déménagement pour cause de pollution (projdemenagpoll), ont des coefficients positifs. Cela suppose que lorsque le revenu de l'individu s'accroît, son CAP mensuel pour une réduction de la pollution de moitié par rapport à la situation actuelle, connaît une augmentation. Ce résultat confirme nos attentes, et corrobore la théorie économique sur les dispositions à payer des agents économiques. Donc, dans un contexte d'amélioration du revenu des individus de la population, leur consentement à payer pour une amélioration de la qualité de l'air augmentera.

Le caractère positif du coefficient de l'âge au carré traduit l'effet non linéaire de l'âge (car la variable âge même a un coefficient négatif). Alors, nous pourrions dire du fait du coefficient négatif de l'âge que le CAP décroît en fonction de l'âge jusqu'à un seuil (ici il correspond à 70 ans environ)<sup>24</sup> et croît après ce dernier. Ce comportement peut trouver son explication dans le fait que l'individu a un CAP élevé dans sa jeunesse compte tenu de son revenu à cette époque, puis dès qu'il vieillit son revenu diminuant entraîne une diminution de son CAP jusqu'à un niveau donné. A partir de 70 ans, l'individu cherche à investir plus pour sa santé tout en réduisant la consommation de certains biens tels que les loisirs. Ainsi, le CAP de cet individu connaît une augmentation car son objectif est l'amélioration de la qualité de l'air qui a un impact sur la santé humaine.

Le coefficient positif de la variable « projdemenagpoll » traduit une augmentation du CAP lorsque l'individu choisit de déménager de Cotonou pour cause de la pollution de l'air ; ce qui n'a pas confirmé nos attentes. Cela suppose que cet individu accorde un poids non moins important à la qualité de l'air pour sa santé. Donc, l'amélioration de la qualité de l'air dans la ville tant qu'il y vit, serait la bienvenue. Par conséquent, sa contribution pour une telle initiative serait consistante. Ainsi, il semble raisonnable qu'un individu qui prend la décision de quitter la ville à cause de la pollution, ait un CAP élevé.

Les variables relatives au sexe et au temps d'habitation dans la ville, ont des coefficients négatifs. On pourra dire que lorsqu'un individu est un homme, son CAP est faible par rapport à celui d'une femme. Alors, les femmes seraient plus sensibles à la pollution de l'air que les hommes. Aussi, peut-on dire que l'individu qui vit longtemps dans la ville fait diminuer son CAP. Cela peut se comprendre par le fait que l'individu, en vivant longtemps à Cotonou, semble ignorer les effets de la pollution de l'air sur sa santé. Ceci justifierait la diminution du CAP dans le cas où l'individu habite la ville pendant une longue durée.

### *Effets marginaux*

La dérivation du CAP moyen mensuel et les magnitudes des variables explicatives, nous amène à examiner les effets marginaux. Le tableau 3.8 résume ces informations par rapport aux variables significatives :

24 Pour trouver ce seuil, nous avons dérivé l'équation du CAP estimé par rapport à l'âge et tiré l'âge en posant la dérivée égale à zéro.

Tableau 3.8 : Effets marginaux relatifs au Tobit censuré

	Rev	age	agecar	Sex	projdemenagpoll	tempshabit
dy/dx	0,02229 (0,0029)*	-20,4982 (20,166)	0,2540 (0,3916)	-210,7242 (92,11)	76,8466 (70,786)	-0,3956 (2,8269)
<b>CAP moyen</b>	<b>1.617 FCFA</b>					

\*Les valeurs entre parenthèses sont les écart-types ;  $y = E(\text{capmois} | \text{capmois} > 0)$

Source : Extrait des résultats d'estimation en annexe 5.6

Il ressort de l'analyse de ces résultats que le CAP moyen d'un individu par mois est de 1.617 FCFA. Cela suppose que pour réduire de moitié la pollution atmosphérique par rapport à son niveau actuel, afin de réduire les souffrances dues à la maladie de 50%, un individu est prêt à contribuer en moyenne à hauteur de 1.617 FCFA par mois. Les individus de notre étude étant les chefs de ménage, on pourra dire que chaque ménage à un CAP moyen d'environ 1.617 FCFA par mois pour participer à un programme de réduction de 50% de la pollution de l'air à Cotonou. Ce montant représente en moyenne le coût de la gêne qu'endure un répondant dès qu'il déclare avoir souffert de l'une des maladies évoquées dans le questionnaire.

Les différentes variables explicatives significatives ont des effets sur le CAP mensuel avec une magnitude donnée. Ainsi, lorsque le revenu du ménage augmente d'une unité, le CAP moyen augmente de 2,23%. On constate que le CAP est lié positivement au revenu de l'individu ; ce qui corrobore la théorie économique. L'augmentation de l'âge d'un an fait baisser le CAP moyen d'environ 20,5 FCFA jusqu'à ce que l'individu n'atteigne 70 ans ; à partir de cet âge l'augmentation d'une unité au carré de l'âge entraîne une augmentation du CAP moyen de 25,4%. Concernant la variable sexe, nous pourrions dire que l'écart entre le CAP moyen d'un homme et celui d'une femme est d'environ 210,72 FCFA. Autrement dit, le CAP moyen d'une femme dépasse celui d'un homme de 210,72 FCFA. Un individu qui projette déménager a un CAP moyen supérieur à celui d'un individu qui ne déménage pas, de 76,85 FCFA. Enfin, lorsque le temps d'habitation dans la ville de Cotonou d'un individu augmente d'une année, le CAP moyen baisse d'environ 40%.

En se basant sur le scénario contingent présenté aux répondants, le processus de décision est séquentiel ; ceci nous amène à estimer aussi le modèle en deux étapes de Heckman (1979) ou le Tobit généralisé afin de faire la comparaison qui s'impose.

#### 3.2.1.6.4 Estimation par le Tobit généralisé

Nous utilisons ici la méthode en deux étapes de Heckman (1979). Au fait Heckman a développé des théories et des méthodes d'analyse des « échantillons sélectifs », ce qui permet de distinguer les groupes d'individus. Une distinction est souvent faite entre échantillon sélectif et un échantillon simplement biaisé. En se basant sur cette distinction, Cote-Colisson et Legendre (1999) ont constitué deux groupes d'entreprises françaises; celle à forte élasticité de substitution et celle à faible élasticité, pour faire leur estimation. Dans le questionnaire utilisé dans cette thèse, la nature du biais semble être endogène. Ainsi, pour procéder à notre estimation, un test de biais de sélection relatif aux valeurs de CAP nulles est nécessaire. Pour la détection du biais de sélection, un simple test de comparaison des moyennes des variables explicatives se fait pour les réponses à CAP positifs et celles à CAP nuls. Toute différence significative entre ces deux groupes de répondants constitue un indicateur d'alerte de la présence d'un biais de sélection (Fonta and Ichoku, 2005). Ainsi, nous utilisons la comparaison des moyennes pour les deux groupes d'individus afin

d'examiner si oui ou non les ménages à CAP positifs ont des caractéristiques différentes de ceux à CAP nuls. Par conséquent, d'après le tableau 3.9, pour la plupart des variables telles que le temps d'habitation (tempshabit), l'âge (age), le revenu moyen (rev) etc., les différences entre les deux groupes au niveau de leurs caractéristiques semblent significatives. Dans l'optique que ces variables influencent le CAP, une estimation obtenue à partir du sous-échantillon des répondants à CAP positifs serait affectée par un biais de sélection.

Tableau 3.9 : Comparaison des moyennes pour les réponses à CAP > 0/ CAP = 0

Variables	CAP > 0		CAP = 0	
	Moyennes	Ecart-types	Moyennes	Ecart-types
rev	62693,8	27846,86	48676,47	24428,05
profes1	0,0251938	0,1568654	0,0294118	0,1702139
profes2	0,3604651	0,4806013	0,2352941	0,4273363
profes3	0,0658915	0,248333	0,0294118	0,1702139
profes4	0,1143411	0,3185339	0,0735294	0,2629441
profes5	0,4108527	0,492466	0,5735294	0,498241
profes6	0,0213178	0,1445818	0,0441176	0,2068833
profes7	0,001938	0,0440225	0,0147059	0,1212678
niv1	0,3139535	0,4645481	0,3823529	0,4895753
niv2	0,4108527	0,492466	0,3970588	0,4929263
niv3	0,1414729	0,3488469	0,0441176	0,2068833
niv4	0,1337209	0,3406825	0,1764706	0,3840544
age	37,23837	9,948379	41,44118	12,37521
agecar	1485,475	863,3871	1868,265	1152,367
fumeur	0,1182171	0,3231783	0,1029412	0,3061414
sex	0,7790698	0,4152761	0,5294118	0,5028453
projdemenagpoll	0,4302326	0,495589	0,2941176	0,4590328
tempshabit	21,69041	13,88616	26,27206	15,01602
<b>Taille de l'échantillon</b>	<b>516</b>		<b>68</b>	

Source : Calculs de l'auteur à partir des données d'enquête

Au regard de ce test, l'estimation par un Tobit généralisé est conduite. Ce modèle se présente comme suit :

### **Présentation du modèle Tobit généralisé**

Dans le scénario présenté aux chefs de ménage, le choix du CAP est fait en deux étapes. D'abord il peut porter son choix sur le cas 2 ou le cas 1 qui montre qu'il est prêt à participer ou non ; et après il choisit le montant voulu dans le cas où il décide de participer. Dans ce processus la prise de décision est séquentielle. Alors la formalisation de cette situation peut se présenter comme suit :

A la première étape l'individu se trouve devant une situation de choix qui peut être présentée par un modèle dichotomique basé sur une variable latente  $y_i^*$ .

$$\begin{cases} si y_i^* > 0 \text{ l'individu } i \text{ choisit le cas 2 (décide de participer)} \\ si y_i^* \leq 0 \text{ l'individu } i \text{ choisit le cas 1 (décide de ne pas participer)} \end{cases}$$

A la deuxième étape, si l'individu choisit le cas 2, il choisit aussi son CAP. Ici, nous avons un modèle de données censurées, défini par  $\forall i = 1, n$  on a :

$$CAP_i = \begin{cases} CAP_i^* & si y_i^* > 0 \\ 0 & si y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad [M2.3]$$

Cette formalisation est une généralisation du Tobit censuré. Pour Sartori (2003) et repris par N'Guessan (2008), la bonne qualité des estimateurs issus du Tobit généralisé dépend de comment les variables explicatives sont introduites dans l'explication de  $y_i$  et du CAP. Il va falloir ne pas retenir exactement les mêmes variables explicatives dans les deux équations. Ainsi on a :

$$CAP_i = \begin{cases} CAP_i^* & si y_i^* > 0 \\ 0 & si y_i^* \leq 0 \end{cases}$$

$$y_i^* = X_1\beta_1 + \varepsilon_{1i}$$

$$CAP_i^* = X_2\beta_2 + \varepsilon_{2i} \quad [M2.4]$$

Avec  $X_1$  et  $X_2$  désignent les variables explicatives (les caractéristiques socio-économiques ou démographiques) ;  $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont les paramètres à estimer et  $\varepsilon_j$  ( $j=1,2$ ) sont les termes d'erreur qui suivent une distribution normale bivariée avec  $\rho$  comme coefficient de corrélation. Après normalisation ( $\sigma_1=1$ ) on a :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{pmatrix} \rightarrow N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Omega \right) \text{ où } \Omega = \begin{pmatrix} 1 & \rho\sigma_2 \\ \rho\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$$

Pour des raisons de simplification, une variable dichotomique  $D_{1i}$  est introduite de telle sorte qu'on ait :

$$D_{1i} = \begin{cases} 1 & si y_i^* > 0 \\ 0 & si y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad [M2.5]$$

L'estimation du modèle peut donc être faite à l'aide de la méthode en deux étapes de Heckman (1979) ou par la méthode du maximum de vraisemblance à information complète.

### Résultats et analyse

L'ensemble des résultats d'estimation relatifs au modèle Tobit généralisé sont présentés en annexe 5.7 (il s'agit des résultats d'estimation, des tests et des effets marginaux). Le tableau 3.10 permet de faire une comparaison de ces résultats avec ceux du Tobit censuré. De ce tableau il ressort que les

variables significatifs au niveau du Tobit généralisé sont le revenu, le sexe, le fumeur et le projet de déménagement. Ce modèle lui-même étant globalement significatif [Prob > F = 0,0000]. Des quatre variables significatives du Tobit généralisé, il y a trois qui le sont également au niveau du Tobit censuré (revenu, sexe, projet de déménagement).

En ce qui concerne le revenu, on constate qu'il a un effet positif sur le CAP dans les deux modèles ; autrement dit le CAP augmente avec le niveau de revenu, ce qui est conforme aux prédictions de la théorie économique. Ce résultat est identique à celui obtenu par Chanel et al (2004). Dans les deux modèles, la magnitude de cette variable sur le CAP mensuel (0,022 pour le Tobit censuré et 0,012 pour le Tobit généralisé) est inférieure à l'unité, ce qui indique que le chef de ménage riche consentira cependant une part moins importante de son revenu que l'individu moins fortuné (Chanel et al, 2004).

Pour ce qui est de la variable sexe, l'effet négatif est maintenu dans les deux modèles et seules les effets marginaux qui diffèrent (-210,72 pour le Tobit censuré contre -473,65 pour le Tobit généralisé). Donc l'écart entre le CAP moyen d'un homme et celle d'une femme au niveau du Tobit généralisé, est plus du double de celui observé au niveau du second modèle.

S'agissant de la variable « projdemenagpoll », l'effet positif est observé dans les deux modèles. Mais il faut noter que l'effet marginal associé à cette variable dans le cas du Tobit généralisé est plus important (200,80 contre 76,85).

La variable « fumeur » dans le Tobit généralisé est significatif et a un effet positif sur le CAP. Ce résultat est identique à celui obtenu par Chanel et al (2004) qui peut être expliqué par un effet de la part du revenu consacrée aux dépenses du tabac. En termes d'effet marginal, le fait de passer d'un état de « non fumeur » à un état de fumeur agit sur le CAP avec une magnitude de 200,10 ; c'est-à-dire que le fumeur est plus consentant, ce qui ne confirme pas les résultats de Chanel et al (2004). Ici on peut expliquer cette situation par le fait que les fumeurs pensent que leur participation pourra les aider à résoudre leurs problèmes de santé ; et de ce fait, ils consentent plus que les non fumeurs.

**Tableau 3.10 :** Résultats comparés du Tobit censuré et du Tobit généralisé

Variables	Coefficients	
	(Ecart-types)	
	Tobit censuré	Tobit généralisé
rev	0,038875*** (0,0050)	0,0119138*** (0,0039196)
age	-35,74973*** (35,1614)	36,48714 (31,47302)
agecar	0,253972** (0,3916)	-0,313763 (0,3455922)
fumeur	356,1625 (182,3019)	297,0869* (160,5561)
sex	-355,7461*** (150,4029)	-473,6464** (234,1021)



Variables	Coefficients	
	(Ecart-types)	
	Tobit censuré	Tobit généralisé
projdemenagpoll	133,4575** (122,3881)	200,7967* (105,7718)
tempshabit	-0,6899899** (4,9302)	-3,157024 (4,609835)
constant	-113,2624 (684,2152)	311,8408 (699,5407)
lambdao		-1360,084 (1347,351)
<b>AIC</b>	<b>22407,23</b>	<b>8757,937</b>

Note : Variable dépendante : capmois ; \*\*\* significatif à 1% ;  
\*\*significatif à 5% ; \*significatif à 10%

Source : Construit par l'auteur à partir des résultats d'estimation en annexes 5.4 et 5.7

Globalement, on constate qu'il y a plus de variables significatifs avec le modèle Tobit censuré qu'au niveau du Tobit généralisé.

La variable « age » est significative dans le Tobit censuré et ne l'est pas au niveau du Tobit généralisé. De plus, l'effet non linéaire de cette variable est confirmé au niveau des deux modèles. Par contre, le sens d'évolution n'est pas le même. Au niveau du Tobit censuré, le sens est négatif dans un premier temps et positif dans un second ; alors qu'au niveau du second modèle, le sens est d'abord positif et négatif après. Ce dernier cas traduit le fait que le CAP croît avec l'âge et atteint un seuil (58 ans) avant de décroître. Chez Chanel et al (2004), on a les mêmes sens d'évolution de la variable « age » avec un seuil de 65 ans. Ces deux seuils sont sensiblement conformes aux âges de départ à la retraite ou pendant la retraite, dans chacun des pays concernés (Bénin et France). Cette situation traduit la réalité selon laquelle l'individu accumule progressivement de la richesse pendant la jeunesse jusqu'à un certain âge et la dépense pendant la vieillesse. De ce fait, le revenu de l'individu croît avec l'âge dans la première phase de la vie et décroît dans la deuxième phase. Par conséquent, son CAP augmente dans un premier temps et décroît dans un second. La non significativité de cette variable « age » au niveau du Tobit généralisé peut s'expliquer par la significativité de la variable « rev » qui aurait pris en compte l'effet décrit ci-haut.

D'après les calculs en annexe 5.7, le modèle Tobit généralisé nous donne un CAP moyen prédit d'environ 1.360 FCFA. Mais en tenant compte de la probabilité moyenne prédite de participation à la contribution financière des individus, le CAP moyen mensuel vaut 1.200FCFA.

*Au total, le revenu de l'individu explique significativement le CAP moyen qui représente le coût privé. Donc, l'hypothèse H2 selon laquelle le revenu de l'individu influence significativement le coût privé de morbidité, est validée.*

Par ailleurs, des simulations sont faites afin de voir le comportement du CAP moyen. Les résultats de ces simulations effectuées (annexe 8) montrent que le CAP moyen ne change pratiquement pas. Lorsque

le revenu des ménages s'accroît de 10%, une variation d'une unité (augmentation) du revenu à partir de son niveau actuel, entraîne une augmentation du CAP moyen de 2,03% (une augmentation moins que proportionnelle à celle du statu quo). Cette situation traduit le fait qu'une amélioration dans le revenu des ménages ne saurait conduire à une augmentation continue du CAP moyen ; autrement dit, du coût privé de la maladie. De même, une augmentation du temps d'habitation dans ville de cinq ans pour tous les individus, n'agit pas autrement sur la variation du CAP moyen suite à une augmentation d'une unité de ce temps à partir de son niveau actuel (la baisse du CAP moyen tourne toujours autour de 40%). Les effets de ces mesures simultanées demeurent les mêmes que précédemment.

En définitive, les variables déterminantes du consentement à payer des individus sont identifiées puis le coût de la souffrance liée à la maladie est dérivé et est d'environ 1.617 FCFA/mois (Tobit censuré) ou de 1.200 FCFA/mois (Tobit généralisé) par chef de ménage. Donc, pour que les individus réduisent leur risque de souffrir des maux auxquels ils ont fait allusion, ils sont prêts à contribuer pour 1.617 FCFA/mois ou 1.200 FCFA/mois afin que la pollution de l'air soit réduite de moitié. Ce montant représente en moyenne le coût de la gêne due aux maladies liées à la pollution de l'air. Cela suppose que la contribution annuelle de la population à un programme de lutte contre la pollution de l'air vaut 19.404 FCFA ou 14.400 FCFA par individu. En comparant ce coût annuel de la gêne obtenu dans notre travail à celui que Rozan (2000) a eu, on constate que le résultat de cet auteur (282 F soit 28.200 FCFA) est légèrement supérieur de 8.796 FCFA ou 13.800 FCFA au notre. Cela peut se justifier du fait que les situations dans lesquelles les différentes études ont été réalisées ne sont pas identiques en tout point. De plus, les niveaux des revenus ne sont pas les mêmes dans ces différentes études. Le montant trouvé dans notre travail ici n'est donc pas exagéré, vu les autres travaux. Par exemple Gerking et Stanley (1986) ont calculé le CAP pour une réduction donnée de la pollution et ont abouti à un CAP moyen annuel compris entre 18,45\$ et 24,48\$ soit entre 10.148 FCFA et 13.464 FCFA. La relative faiblesse de ces montants par rapport à notre cas et au cas de Rozan peut s'expliquer par exemple par le pourcentage de réduction (30%) des concentrations moyennes d'ozone proposé par l'étude de Gerking et Stanley, par la différence entre les environnements d'études.

Enfin, lequel des montants retenir ? Le montant qu'il faut retenir dépend du modèle définitivement considéré. Pour opérer un choix entre les deux modèles, nous nous basons sur le critère d'information d'Akaike (AIC). Pour ce faire, le choix se porte sur le modèle ayant le critère AIC le plus faible (N'Guessan, 2008). Au niveau du tableau 3.10 on a une valeur de 8757,937 pour ce critère au niveau du Tobit généralisé ; puis une valeur de 22407,23 au niveau du Tobit censuré. Par conséquent, le montant relatif au Tobit généralisé est retenu. En définitive, le montant du coût privé de morbidité considéré est de 1.200 FCFA par mois par épisode morbide.

Nous procédons maintenant à une évaluation du coût médico-social ou coût de traitement général de façon non exhaustive.

### 3.2.2 L'évaluation du coût médico-social

Dans cette évaluation, fondamentalement les coûts de traitement des maladies, déclarés par les répondants, sont pris en compte. Nous prenons en compte les coûts d'empêchement de mener ses activités quotidiennes. Nous nous contentons de notre base de données dans la mesure où le secteur public de la santé a connu une forte crise dans le pays. Cette crise a fait que les investigations possibles auprès des médecins n'ont pu se réaliser. Cette crise a conduit à une forte concentration des patients dans le secteur privé de la santé, ce qui ne nous a pas facilité la tâche. Dans notre questionnaire de base, il est demandé aux répondants de déclarer les personnes de leur ménage ayant souffert également des maux auxquels on a fait allusion. Une approximation de coûts de traitement de ces derniers est faite. Il est à noter que cette évaluation se situe dans une approche de sous-estimation des coûts, ce qui est préférable à une approche de sur-estimation de ces derniers.

### 3.2.2.1 Les statistiques descriptives sur quelques variables de coûts

L'examen des différentes variables utiles à l'évaluation de coût à ce niveau, est détaillé en annexe 7.1. Le tableau 3.9 présente un extrait de ces informations.

Tableau 3.11 : Statistiques sur les variables de coûts de traitement

Variabiles	Moyennes	Médianes	Modes	Minimum	Maximum
<b>couttrait</b>	11.995 FCFA	5.000 FCFA	1.000 FCFA	25 FCFA	400.000 FCFA
<b>durempech</b>	6 jrs	3 jrs	2 jrs	1 jr	240 jrs
<b>coutjrperd</b>	8.642FCFA	5.000 FCFA	5.000 FCFA	300 FCFA	150.000 FCFA

Source : Extrait de l'annexe 7.1

De l'analyse de ce tableau, il ressort que la variable « couttrait » qui traduit le coût de traitement déclaré par les répondants, pour un épisode de maux énumérés, présente une moyenne de 11.995 FCFA car seuls les coûts positifs déclarés semblent raisonnables (les valeurs zéro de coûts ne se justifient pas). Pour ce coût de traitement, on note une médiane qui se situe à 5.000 FCFA. Environ 8% des répondants ont déclaré un coût de traitement de 1.000 FCFA qui constitue donc le coût modal par épisode. Pendant les périodes de maladies, certains répondants ont reconnu avoir été empêchés de mener leurs activités quotidiennes (47% selon l'annexe 7.1-c). Le nombre de jours d'empêchement de mener des activités quotidiennes est matérialisé par la variable « durempech ». Ainsi, la durée moyenne de jours d'empêchement est de 6 jours avec une durée médiane de 3 jours. Pour la plupart des individus (20,25%), la durée d'empêchement est de deux jours, ce qui correspond à la durée modale. De plus, le coût positif le plus faible est de 25 FCFA et le coût maximum est de 400.000 FCFA (voir annexe 7.1-b). La durée minimale d'empêchement est d'un jour et celle maximale de 240 jours (voir annexe 7.1-e). Les répondants ont été amenés à se prononcer sur ce qu'une journée perdue leur coûte ; ce que représente la variable « coutjrperd ». Les statistiques relatives à cette variable montrent que le coût minimum d'une journée perdue est de 300 FCFA avec un maximum de 150.000 FCFA (annexe 7.1-g). Le coût moyen d'une journée perdue du fait de la maladie, s'établit à 8.642 FCFA avec une médiane de 5.000 FCFA qui se confond au coût modal.

### 3.2.2.2 Le calcul du coût médico-social

Pour ce calcul, nous nous en tenons aux coûts de traitement déclarés par les répondants, aux coûts de perte de revenu liée à l'empêchement de mener des activités quotidiennes. Les coûts de traitement des adultes déclarés par les répondants, et ayant connu au moins un épisode morbide dans le ménage, sont par hypothèse les mêmes que ceux des chefs de ménages. N'ayant pas les nombres de jours d'indispositions de ces adultes, nous tiendrons compte de la durée moyenne d'indisposition des répondants que nous multiplions par le coût journalier de traitement sous l'hypothèse que le coût de traitement se répartit uniformément sur le nombre de jours d'empêchement. Ainsi, si on désigne par « couttraitad » le coût de traitement moyen par ménage d'un adulte déclaré comme malade par certains chefs de ménage, on a la relation suivante dans laquelle n désigne le nombre d'adultes malades déclarés par ménage et l'indice i représente chaque adulte:

$$couttraitad_i = 6n \left( \frac{couttrait_i}{durempech_i} \right) \quad [M 3.1]$$

La relation [M 3.1] traduit donc que le coût de traitement moyen par ménage d'un adulte dépend de la durée moyenne d'empêchement (6 jours), du nombre d'adultes malades (n) et du coût de traitement déclaré par répondant et par jour d'empêchement (coutraît/durempech).

Une fois ce coût obtenu, il pourra s'ajouter au cumul des coûts de traitement des répondants et des coûts de perte de revenu. Ne disposant pas des informations sur les coûts relatifs aux enfants, nous n'avons pas pu intégrer ce coût. Au niveau des répondants et des adultes déclarés, le coût d'hospitalisation est supposé incorporé au coût de traitement déclaré ou tout simplement négligeable du fait que les maladies présentées aux répondants sont pour la plupart des maladies bénignes. Et comme l'avait aussi notifié Rozan (2000), l'hospitalisation pour ces genres de pathologies bénignes, n'est pas fréquemment observée. Par conséquent, le coût médico-social (CMS) moyen se définit par :

$$\overline{CMS} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \overline{cout_j} = \frac{1}{3} [\overline{coutraît} + \overline{coutempech} + \overline{coutraîtad}] \quad [M3.2]$$

Dans l'égalité [M3.2] où l'indice j désigne chaque catégorie de coût, la variable « coutempech » représente le coût de perte de revenu due à l'empêchement de mener des activités quotidiennes. Les barres qui sont sur les variables signifient qu'il s'agit de la moyenne de chacune d'elles. D'après l'annexe 7.2, les coûts moyens respectifs d'empêchement et de traitement des adultes déclarés, sont respectivement de 56.256 FCFA et 11.381 FCFA. Au regard du calcul effectué en annexe 7.1, on a les résultats du tableau 3.10.

Tableau 3.12 : Coûts moyens et CMS

Variables de coûts	Valeurs moyennes (FCFA)
Coutraît	11.995
coutempech	56.256
Coutraîtad	11.381
<b>CMS</b>	<b>26.544</b>

Source : Extrait des résultats obtenus en annexes 7.1-b et 7.2

En définitive, il ressort de nos résultats que le Coût Médico-social (CMS) de la population adulte (répondants et adultes déclarés), s'élève à 26.544 FCFA par épisode morbide. Nous supposons que ce coût est mensuel compte tenu du fait que la durée moyenne d'indisposition d'un répondant est de 6 jours. Dans ce CMS, il faut noter que les coûts relatifs au traitement des enfants ne sont pas pris en compte. Pour ce faire, on peut dire sans ambiguïté qu'il n'y a aucune surévaluation de coût médico-social. Même au niveau des adultes déclarés, nous n'avons pas tous les détails sur leur situation professionnelle et donc sur ce qu'une journée leur coûte.

Eu égard à tout ce qui précède, on peut déduire le coût économique global mensuel de la maladie. Selon Rozan (2000), un tel coût correspond à l'ensemble des coûts « socialisés » et du coût privé. Les premiers désignent tout simplement le coût médico-social et le coût privé signifie le coût de la souffrance ou de la gêne due à l'état morbide. Dans cette optique, le coût économique global mensuel obtenu vaut **27.744 FCFA** par adulte et pour un épisode morbide dans un mois. Le coût privé mensuel que nous avons retenu, représente à peu près les 4,33 % du coût total mensuel de la maladie. Cette proportion, bien que faible comparativement à celle obtenue par Rozan (2000) qui est de 50% n'est pas négligeable. La faiblesse de cette proportion peut se justifier d'une part, par les contextes économiques non identiques pour les évaluations du coût privé, et d'autre part, du fait que les approches d'évaluation du coût médico-social, ne sont ni exactement les mêmes, ni appliquées dans les mêmes contextes.

## Conclusion

Les maladies surtout bénignes, causées par la pollution atmosphérique à la population de Cotonou, engendrent des coûts sanitaires non négligeables. Ainsi, dans ce chapitre 3 de notre thèse, nous avons procédé à une évaluation empirique des coûts de morbidité liée à la pollution de l'air. Pour ce faire, nous avons d'abord passé en revue les différentes méthodologies d'évaluation dans ce cadre ; ensuite des travaux empiriques ont été examinés afin de s'apercevoir des diverses approches utilisées ; et enfin les estimations du coût de la souffrance et du coût médico-social sont faites. La revue de travaux antérieurs, effectuée à ce niveau, nous a permis de retenir deux approches d'évaluation de coûts de morbidité. La première approche, celle de la MEC, a été utilisée pour estimer le coût de la souffrance due à la maladie ; tandis que la deuxième approche (MCM) a servi au calcul du coût médico-social. Il faut noter que ces deux méthodes d'évaluation sont complémentaires dans le calcul du coût économique total de la maladie due à la pollution de l'air. L'estimation du coût privé ou coût de la souffrance est faite par l'usage du modèle Tobit censuré avec variable endogène. Ainsi, de ce modèle, le CAP moyen prédit correspondant au coût privé d'un adulte, s'élève à 1.200 FCFA/mois. Par une approche comptable, le calcul du coût médico-social est fait en considérant les coûts de traitement déclarés par les répondants, les coûts de perte de revenu et les coûts de traitement des adultes qui ont été déclarés malades par les chefs de ménage. Partant de ce fait, le coût médico-social est évalué à 26.544 FCFA par mois. Globalement, le coût économique mensuel s'élève à 27.744 FCFA. Le coût privé représente environ 4,33% du coût économique total. Dans une approche d'évaluation des dommages causés par la PA aux populations exposées dans la ville de Cotonou en 1999, Gbinlo (1999) trouve un coût social individuel par mois de 558,25 FCFA ; ce qui est inférieur même au coût privé de 1.200 FCFA voire celui médico-social (26.161 FCFA) obtenus dans le présent travail. Cette différence de coût se justifie aisément dans la mesure où les approches d'évaluation par la MEC utilisées n'ont pas présenté les mêmes scénarios, les cartes de paiement ne sont pas les mêmes, et il n'y a pas des détails par rapport aux problèmes sanitaires dans le questionnaire de Gbinlo. Chez Gbinlo (1999), les coûts de traitement de maladies, de perte de revenu ne sont pas par exemple pris en compte dans le coût social évalué.

Au total, le coût économique mensuel lié à l'état morbide d'un individu s'élevant à 27.744 FCFA vaut à peu près 88,1% du Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti. Cet état de chose trouve son explication en grande partie dans le fait que le secteur informel n'est pas véritablement pris en compte dans la détermination du SMIG.

# Chapitre 4

## Coûts de mortalité liée à la pollution de l'air à Cotonou

### Introduction

La mortalité est un effet reconnu de la pollution de l'air à travers la littérature économique. Compte tenu de la perception prouvée de la pollution de l'air dans la ville de Cotonou au Bénin, dans le deuxième chapitre de la présente thèse, il est normal de comprendre cet effet au sein de la population. Fondamentalement, nous cherchons à estimer les coûts possibles de la pollution de l'air en termes de mortalité. Procéder à une telle estimation requiert une démarche méthodologique bien appropriée. C'est la raison pour laquelle nous abordons dans la première section de ce chapitre, les travaux antérieurs effectués dans le domaine afin de mieux cerner les approches nécessaires. Cette revue que nous faisons dans cette section est relative aux démarches méthodologiques et empiriques existantes. Dans la deuxième section du chapitre, nous procédons à l'évaluation des coûts de cette nuisance sur la mortalité. Cette évaluation s'appuiera sur une démarche bien précise tout en s'inspirant de notre revue faite à la première section.

### 4.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de mortalité

Pour l'évaluation des coûts de la pollution de l'air en termes de mortalité, il est fondamental de parcourir les différentes démarches adoptées par bon nombre d'auteurs. Des travaux se réalisent toujours de nos jours sur la question des effets de la pollution de l'air sur la santé. Il est à remarquer que cette question ne semble pas trouver une solution définitive du fait de l'action perpétuelle de l'homme sur l'environnement. Pour cela, diverses études ont abordé ladite préoccupation dans le sens d'estimer les coûts de la PA relatifs à la mortalité. Ainsi, nous passons en revue dans cette première section du chapitre 4, les études qui se sont basées sur la MEC d'une part ; et d'autre part celles qui se sont focalisées sur les fonctions dose-réponse.

#### 4.1.1 Les travaux basés sur la Méthode d'Evaluation Contingente

Dans l'étude de Morris et Hammitt (2001), la question d'Evaluation Contingente était basée sur le CAP pour un vaccin hypothétique de pneumonie. Pour la moitié de l'échantillon, le bénéfice a été exprimé en termes de gain d'espérance de vie ; et pour l'autre moitié, le bénéfice a été exprimé en termes d'une réduction de risque de décès. Chaque échantillon a été divisé en deux groupes ; le premier groupe doit donner son CAP pour le vaccin reçu à l'âge de 60 ans (espérance de vie = 11 mois), puis le second groupe doit faire la même chose pour le vaccin reçu à l'âge de 70 ans (espérance de vie = 5 mois). 30% de l'échantillon ne prendrait pas le vaccin, fondamentalement parce que les bénéfices sont trop faibles ou incertains. Les résultats montrent que si les bénéfices sont exprimés en termes de gain d'espérance de vie, le CAP médian est 52% plus élevé que pour la réduction de risque dans le cas du vaccin reçu

à 60 ans, mais pour le vaccin reçu à 70 ans, il y a égalité. Les auteurs aboutissent à la conclusion que l'espérance de vie est plus compréhensible et rehausse la validité de l'évaluation économique.

Quant à Krupnick et al. (2002), l'évaluation contingente a été faite dans le cadre du risque de décès lié à la pollution de l'air. A cet effet, les CAP des individus ont été élicités pour des réductions données du risque de décès. L'étude a porté sur un échantillon de 930 individus âgés de 40 à 75 ans dans la région de Hamilton Ontario aux Etats Unis. L'administration du questionnaire a été faite à l'aide d'ordinateur par chaque répondant. La compréhension du risque a été faite à l'aide des supports audio et visuels. Le questionnaire a été subdivisé en cinq parties : la première partie présente les informations personnelles sur le répondant, y comprises celles de son état de santé ainsi que de celui de sa famille proche ; la deuxième partie introduit les concepts de probabilité permettant d'apprécier leur compréhension du risque de décès-la troisième partie présente chaque répondant avec les principales causes de décès pour quelqu'un de mêmes âge et sexe que lui ; la quatrième partie clarifie les CAP pour les réductions de risque d'une magnitude donnée se produisant en un temps spécifié, utilisant des méthodes de choix dichotomique ; la dernière partie met en exergue des questions de fin d'interviews suivies des questions sociodémographiques. L'échantillon a été divisé en deux groupes (630 pour le groupe 1 et le reste pour le groupe 2). Le CAP moyen obtenu pour une réduction de risque de 5/1.000 pour les dix prochaines années est de 601 C\$ (1999 C\$) par an (soit 480,8 \$US l'an). Avec une réduction de risque de 1/1.000 pour la même période, il est de 368 C\$ par an (soit 294,4 \$US l'an). Pour obtenir la VSV, le CAP annuel est divisé par la réduction annuelle du risque (1/10.000 ou 5/10.000). Les VSV obtenues sont approximativement de 1,2 million C\$ pour une réduction de 5/10.000 l'an, et 3,8 millions C\$ (1999 C\$) pour une réduction de 1/10.000 l'an ; soit respectivement de 0,96 million \$US et 3,04 millions \$US (1999 \$US). Le CAP moyen est constant avec l'âge jusqu'à 70 ans et est 30% fois plus petite pour les personnes âgées de 70 ans et plus. Les auteurs ont trouvé que le CAP n'est pas affecté par l'état de santé physique, mais il est affecté par la santé mentale.

Chanel et al. (2004), ont procédé à une évaluation contingente spécifique à la pollution de l'air dans une approche contextuelle au sein des habitants des Bouches-du-Rhône. Le scénario hypothétique retenu ici place l'individu dans une situation de déménagement obligatoire avec sa famille. Pour ce faire, on lui propose deux localités qui sont semblables en tous points (climat, taille de la localité, logement, vie culturelle etc.) ; à l'exception du niveau de pollution et du coût de la vie. Autrement dit, c'est ce scénario qu'ont retenu Chanel et Luchini (2008). Un échantillon de 1.273 individus a été enquêté en juin 2000 et en juin 2001 par voie téléphonique (1006 personnes) et par vote électronique en un même lieu (267 personnes). Dans leur étude, les auteurs ont estimé d'abord les CAP moyens pour l'ensemble des effets de la pollution de l'air, avec et sans apport d'information sur le risque. Ces CAP moyens pour une réduction de 50% de la pollution de l'air, sont respectivement de 69,7 euros et 65 euros par mois et par ménage. Alors, l'apport d'information se traduit par une augmentation de 4,7 euros en moyenne. Ces évaluations ont été faites à l'aide du modèle économétrique dérivé de McFadden et Leonard (1993) dont une transformation du type Box-Cox a été faite. De plus, la valeur d'évitement d'un décès (VED) a été estimée à l'aide d'un modèle d'optimisation d'utilité à durée de vie aléatoire. C'est l'extension de ce modèle qui est développée par Chanel et Luchini (2008). La VED est calculée à partir des CAP estimés en tenant compte uniquement des effets mortels liés à la pollution atmosphérique, puis de la variation de risque correspondante. La VED moyenne a été évaluée à 0,8 Million d'euros et la médiane à 0,625 Million d'euros. Autrement dit, ils ont constaté que 90% des VED estimées se trouvent entre 0,13 et 21 Millions d'euros.

Dans l'étude faite par Alberini et al. (2004), la méthode d'évaluation contingente a été utilisée dans trois pays à savoir la France, l'Italie et le Royaume Uni. L'enquête a été conduite à l'aide d'un protocole standardisé. Il a été demandé aux individus âgés de 40 ans et plus de donner leur CAP pour une réduction spécifique de risque. Leurs réponses ont servi à estimer le CAP pour cette réduction de risque et de la VSV. Les résultats des auteurs suggèrent que la VSV est comprise entre 1.052 euros et 2.258 millions d'euros. Selon ces auteurs, la VSV n'est pas significative pour les personnes âgées, mais elle est élevée pour les personnes qui ont été admis à l'hôpital pour des causes cardio-vasculaires ou respiratoires.

Ces résultats sont en partie inconsistants avec la pratique de QALY, consistant à imputer de faibles valeurs aux personnes dont l'état de santé est compromis. Ils trouvent aussi que le revenu est positivement et significativement lié au CAP. Les « élasticités revenu » du CAP augmentent graduellement avec les niveaux de revenu et sont typiquement comprises entre 0,15 et 0,5 selon les niveaux du revenu courant dans les pays de l'Union Européenne. Les réponses aux questions sur les CAP ont servi à estimer la valeur d'une extension dans l'espérance de vie restante. Les auteurs ont trouvé qu'une extension d'un mois dans l'espérance de vie augmente avec l'âge et avec de graves cas de maladies cardiovasculaires et respiratoires dont le répondant a souffert. La valeur d'une perte d'espérance de vie d'une année est comprise entre 55.000 euros et 142.000 euros. Pour cette étude, le questionnaire utilisé est semblable à celui utilisé par Krupnick et al. (2002) à quelques différences près. La première partie du questionnaire cherche à connaître l'état de santé du répondant et celui des membres de sa famille proche. Après une présentation des probabilités ou nombre de chances de décéder a été faite à l'aide d'une grille de 100 carreaux dont certains sont colorés, afin d'apprécier la compréhension des répondants au sujet du risque de décès. Enfin, les questions relatives aux CAP des répondants en fonction des probabilités de réduction du risque de décès, ont été posées. Les échantillons d'étude sont respectivement de 299, 292, 330 pour la France (Strasbourg), l'Italie (Venise, Gênes, Milan et Turin) et le Royaume Uni (Bath). Les auteurs ont supposé que les CAP suivent une distribution Weibull avec laquelle l'estimation a été faite par la méthode du maximum de vraisemblance.

Contrairement à Chanel et al (2004), Desaignes et al. (2007) ont abordé l'évaluation contingente dans un contexte de gain d'espérance de vie lié à une réduction de la pollution de l'air en France (Strasbourg). Les auteurs se sont basés sur le questionnaire développé par Krupnick et al. (2002) pour l'Amérique du Nord. Ce questionnaire de base a été traduit et administré à 300 individus âgés de 40 à 75 ans. Mais dans leur approche, d'autres questions ont été ajoutées, particulièrement des questions ouvertes. Ainsi, l'opportunité a été donnée aux répondants de corriger leurs réponses au sujet de leur CAP. Cinq variantes du questionnaire dont celle relative au gain d'espérance de vie, ont été testées en vue de voir la robustesse des réponses des répondants. Les résultats ont permis d'estimer la Valeur d'une Année de Vie (VAV) qui est comprise entre 0,020 et 0,220 million d'euros. Selon les auteurs, la forte dispersion que l'on note au niveau des résultats est un reflet des difficultés que les répondants ont dans la compréhension des réductions de risque. Sous l'hypothèse que les zéro réponses pour le CAP sont valides, une approche économétrique appropriée a été utilisée (la méthode en deux étapes de Heckman). La structure originale du questionnaire utilisé est pratiquement la même que celle adoptée par Alberini et al. (2004). Ici, la compréhension des probabilités de décès a été recherchée à l'aide de grilles de 1.000 carreaux. Les questions de révélation des CAP sont formulées de manière non contextuelle. Il a été demandé aux répondants de donner leur CAP annuel pour les dix prochaines années en vue de recevoir un traitement médical, qui réduira leur risque de décéder de 1/1.000 et de 5/1.000. De plus, il leur a été demandé leur CAP actuel pour réduire de 5/1.000 leur risque de décéder durant une période de dix ans à compter de 70 à 80 ans. Afin de découvrir comment les répondants ont compris et interprété le questionnaire, un commentaire écrit a été exigé d'eux à la fin. Il faut noter que l'administration du questionnaire a été faite par ordinateur.

Dans leur méthode, les auteurs sont parvenus à la valeur statistique de la vie (VSV) et à celle d'une année de vie (VAV) en utilisant les expressions suivantes :

$$VSV = CAP \frac{10}{\Delta R} \quad [E9.1]$$

$$VAV = CAP \frac{10}{\Delta EV} \quad [E9.2]$$

Dans les équations [E9.1] et [E9.2],  $\Delta R$  et  $\Delta EV$  désignent respectivement la réduction de risque et le gain d'espérance de vie.

Armantier et Treich (2004), après avoir émis la proposition sur les effets possibles des cas d'hétérogénéité évoqués dans leur article<sup>25</sup>, ont cherché à faire des simulations. Ainsi, ils ont procédé à une investigation

25 Le modèle théorique des auteurs est développé au point 2.2.2 du deuxième chapitre



numérique des effets de l'hétérogénéité au niveau de la richesse, du risque de base et de la réduction du risque. Ils ont étalé leurs simulations sur une analyse d'évaluation contingente d'une réduction de risque de mortalité, conduite par Krupnick et al. (2002). En se basant sur l'étude de ces derniers, Armantier et Treich (2004) ont d'abord considéré un agent représentatif dans l'économie. Pour ce faire, ils ont considéré un agent avec un revenu moyen de 60.000 C\$ et une base annuelle moyenne du risque de 123/10.000. Une approximation de la richesse annuelle du répondant représentatif a été faite par ses revenus annuels cumulés sur son temps de vie. Ainsi, ils ont évalué la richesse moyenne à 906.078 C\$. Les auteurs ont adopté pour la fonction d'utilité  $u$ , une fonction racine carrée, et pour des raisons de simplification, il a été considéré que la fonction d'utilité  $v$  conditionnelle au décès est nulle. Chez Krupnick et al. (2002), le CAP moyen a été estimé à 601 C\$ (respectivement 368 C\$) pour une réduction de risque de 5/10.000 (respectivement 1/10.000) ; tandis que le modèle d'Armantier et Treich (2004), prédit un CAP quelque peu différent de 916 C\$ (respectivement 183 C\$). Pour quantifier les effets de l'hétérogénéité, les auteurs ont généré un échantillon de taille  $10^6$  pour estimer précisément les moyennes  $\bar{Z}$  et  $\bar{B}$  dans cette population. Les richesses  $w_i$  et les risques de base  $1 - p_i$  sont simulés de manière aléatoire et indépendante à partir des distributions Log normales. Alors, le CAP moyen ( $\bar{Z}$ ) obtenu est de 917 C\$ et le bénéfice social par tête ( $\bar{B}$ ) est de 792 C\$. Avec l'utilisation des données collectées par Krupnick et al. (2002), les simulations faites dans la dite étude, suggèrent une surestimation de 15,8% des bénéfices dus à l'approche du CAP. Cette approche du CAP conduirait aussi à une surestimation de la VSV qui est égale à  $917 \text{ C\$} / 0,0005 = 1,834 \text{ million C\$}$  tandis que la valeur non biaisée de la VSV est de 1,584 million C\$. Autrement, si le coût par tête du projet est compris entre 792 C\$ et 917 C\$, les critères du CAP amèneraient à un projet socialement inefficace.

Ami et Desaignes (2003) ont montré que l'impact de la pollution de l'air sur la mortalité pourrait être décrit à l'aide de deux indicateurs à savoir : -une réduction de l'espérance de vie ou -une augmentation de la probabilité de décès prématuré. Ils précisent que l'interprétation et la perception individuelles de ces deux mesures peuvent fondamentalement diverger. Dans leur papier, les auteurs ont analysé la pratique courante de l'évaluation de la VSV dans le contexte de la pollution atmosphérique. Ils ont testé un questionnaire d'évaluation contingente avec de petites variations de probabilité de décès pertinentes dans le cadre de la pollution de l'air. En France, trois variantes de ce questionnaire ont été testées auprès de 50 individus, chacune suivi d'un commentaire afin de mesurer un certain nombre de biais. Les auteurs aboutissent au fait que les répondants ont de très différentes perceptions du bien à évaluer. Ils obtiennent que le CAP diminue de 50% lorsque l'on passe du scénario initial à l'une des variantes. Le CAP moyen obtenu en France pour la question ouverte est respectivement de 404 euros et 663 euros avec une réduction de risque de 1/1.000 respectivement 5/1.000 pour les 10 prochaines années.

En situation de pollution de l'air, nul ne doute que la mauvaise qualité de l'air compromettant ainsi la qualité de vie. Concernant cette qualité de vie, Johannesson et Johansson (1996), ont mené une étude portant sur cette question. Dans leur étude, les auteurs rapportent leur tentative de mesure de la valeur que les adultes suédois imputent à une augmentation de la probabilité de survie aux âges avancés. A cet effet, une échelle de l'estimation entre la mauvaise qualité possible de vie (=1) et la meilleur qualité possible de vie (=10), est utilisée pour indiquer la qualité de la vie qu'une personne espère avoir à un âge avancé. Ils ont obtenu une forte corrélation entre la mesure de cette qualité et la prime d'assurance qu'une personne est disposée à payer en échange d'un programme qui augmente la durée de vie d'une année, conditionnellement au fait d'avoir atteint l'âge de 75 ans. Ainsi, la prime d'assurance maximale qu'une personne moyenne est disposée à payer pour un tel programme, est moins de 1.500 \$. Johannesson et Johansson (1996) parviennent à la conclusion selon laquelle le CAP croît avec l'âge d'une personne, mais à un faible taux. La moyenne implicite du taux marginal de préférence pour le temps est approximativement de 1%. L'étude des auteurs a été faite par interviews téléphoniques avec un échantillon aléatoire de suédois âgés de 18 à 69 ans. Au total 2824 interviews ont été réalisées avec un taux de réponse 81,8%. La prime d'assurance maximale obtenue pour une personne moyenne est réellement comprise entre 700 \$ et 1300 \$. Dans leur papier, les auteurs obtiennent une VSV comprise entre 70.000 \$ et 130.000 \$.

Dans l'étude de Chanel et Luchini (2008), les données utilisées proviennent d'une expérience nommée « Stated Preference<sup>26</sup> » dans le cadre des risques liés à la pollution de l'air. Des questions ont été posées aux répondants (habitants des Bouches-du-Rhône) au sujet de leur CAP pour une amélioration de la qualité de l'air. Premièrement, les répondants doivent donner des détails sur leurs caractéristiques socioéconomiques, leurs attitudes face au risque, leur connaissance par rapport à la pollution de l'air et leur état de santé. Deuxièmement, le scénario était décrit et les CAP proposés. Le scénario proposait un choix hypothétique entre deux villes qui sont pratiquement semblables en termes d'infrastructures à l'exception du coût de la vie et du niveau de la pollution de l'air. Le modèle théorique élaboré par les auteurs, a été adapté aux données par une approche économétrique bien appropriée. Les variations de risque ont été exprimées pour une période de plus d'un an. L'opportunité a été donnée à chaque individu de réduire le risque de mortalité en choisissant d'aller dans la ville la moins polluée. Deux modèles économétriques estimés par les moindres carrés non linéaires ont permis d'avoir les résultats empiriques de leur étude. En se basant sur le modèle I, il est possible de considérer que la valeur d'années perdues (VAP) dépend des caractéristiques des répondants. Les VAP médianes et moyennes ont été obtenues pour les deux modèles. Pour le modèle I, la valeur estimée de la VAP médiane et celle moyenne sont équivalentes et égales à 160.700 euros. Dans le cas du modèle II, la VAP moyenne est de 150.498 euros et celle médiane est de 147.994 euros. L'utilisation du modèle II permet de calculer une VAP moyenne dans un état de parfaite santé ; cette valeur étant estimée à 206.808 euros. De plus, une relation en forme de U renversé s'est établie entre la valeur de prévention d'une fatalité (VPF) et l'âge dans un contexte spécifique de la pollution de l'air ; avec un maximum à 1,7 million d'euros pour les seuls répondants et à 2,5 millions d'euros pour les seuls non répondants. La VPF moyenne pour tout l'échantillon est de 2.15 million d'euros. Le fait de relâcher l'hypothèse d'égale VAP à travers les répondants dans le modèle II, fournit une grande flexibilité sur la relation entre l'âge et la VPF.

Le modèle théorique de Chanel et Luchini (2008) s'est inspiré de celui de Johansson (2001). Il faut noter qu'en 2001, Johansson dans son article se posait la question de savoir s'il y a une définition significative de la valeur statistique de la vie (VSV). Après une simplification de son modèle théorique, Johansson aboutit à déduire une définition de la VSV. Sa définition est une interprétation sérieuse en termes d'estimation monétaire de la valeur présente de l'utilité espérée si la consommation est indépendante de l'âge. Selon l'auteur, dans tous les autres cas, les estimations empiriques de la VSV sont des estimateurs biaisés de la contrepartie monétaire de la valeur présente de l'utilité espérée. L'auteur a utilisé Mathematica 4<sup>27</sup> pour les calculs numériques. Les valeurs estimées se trouvent dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Estimations numériques de la VSV

Les Taux	$r = 0,02 ; \theta = \delta = 0,01$	$r=0,02 ; \theta=0,01; \delta=0,005$	$r=0,02, \theta=0,01; \delta=0,015$
VSV <sup>3</sup>	69,3\$(69,3\$)	107,1\$ (74,1\$)	51,6\$ (71,4\$)

Source : Extrait de Johansson (2001)

Dans ce tableau  $r$ ,  $\theta$ , et  $\delta$  sont respectivement le taux d'intérêt, le taux marginal de préférence pour le temps et le taux de hasard. En réalité, avec ces résultats de Johansson (2001), on note une définition de la VSV qui peut être estimée empiriquement. Pour l'auteur, cette mesure n'est pas nécessairement un bon indicateur de la valeur monétaire de la valeur présente de l'utilité espérée, sauf le cas où la consommation est constante sur le cycle de vie. Autrement dit, si la consommation croît ou décroît à travers le temps, la VSV est un faible indicateur de la valeur monétaire de la valeur présente de l'utilité espérée. Cela est vrai en particulier si la variation du taux de hasard utilisée dans le calcul de la VSV dure longtemps.

<sup>26</sup> Cette notion se rapporte au concept de « préférences déclarées » ou « préférences révélées »

<sup>27</sup> Mathematica est un puissant programme pour faire les mathématiques. Il peut être simplement utilisé comme une calculatrice

### 4.1.2 Les études portant sur l'usage des fonctions dose-réponse

Medina et al (2009), présentent les résultats du projet Apheis<sup>28</sup>. Le projet en question est relatif à 26 villes européennes. Selon eux, la pollution de l'air continue de menacer la santé publique. Cela ne peut en être autrement dans la mesure où la pollution est en elle-même une contamination. Ces auteurs rappellent un certain nombre d'études (Künzli et al, 2000 ; Sommer et al, 2000 etc.) et le manque de politiques efficaces, qui montrent effectivement que la pollution de l'air constitue toujours une menace pour la santé publique. Les effets mis en exergue sont relatifs à la mortalité. Les estimations ont été faites par les auteurs à travers les fonctions concentration-réponse ou dose-réponse. Ainsi, pour une réduction de 5µg/m<sup>3</sup> de l'exposition de court terme aux concentrations externes de PM<sub>10</sub>, on peut éviter par an entre 500 et 1.000 décès prématurés dans les villes concernées par l'Apheis, toutes choses étant égales par ailleurs. Les bénéfices espérés en termes de mortalité de long terme sont plus importants ; alors pour un même niveau de réduction de polluant considéré par ville, les décès prématurés évités par an se situent entre 3.400 et 7.700 cas, toutes choses étant égales par ailleurs. Dans la suite du projet, à la troisième phase en 2003-2004, l'actualisation des données a permis d'obtenir, pour une réduction de 20µg/m<sup>3</sup> de concentrations en PM<sub>10</sub>, dans chaque ville, alors :-plus de 2.500 décès prématurés (incluant 1.700 cas de cardiovasculaires et 400 cas respiratoires), pourraient être évités annuellement, si l'estimation de l'impact est de deux jours - l'impact cumulé de court terme à travers 40 jours est deux fois plus élevé, allant à plus de 5.200 cas de décès (incluant 3.400 cas de cardiovasculaires et 1.300 cas respiratoires) -les effets de long terme d'une réduction de la pollution sont les plus élevés (plus de 21.300 de décès prématurés par an). En termes d'espérance de vie, Medina et al (2009) ont obtenu que le gain espéré d'espérance de vie lié à une réduction de risque de décès, est compris en moyenne entre 2 et 13 mois, pour une personne de trente ans d'âge.

Rabl (1999), dans ses estimations des coûts sanitaires des polluants classiques, a séparé le coût de morbidité de celui de mortalité. En se basant sur l'étude de Pope et al (1995) aux Etats-Unis sur la mortalité de long terme, il parvient à la conclusion selon laquelle pour une réduction de 10% des concentrations ambiantes, les bénéfices en termes de mortalité, sont d'environ 2100 millions F/an, soit 340 F/an par habitant. Pour l'évaluation des effets sur la mortalité, l'auteur précise que le choix d'un indicateur est nécessaire, c'est-à-dire la « valeur de la vie » ou plus précisément le « consentement à payer collectif pour réduire le risque d'une mort prématurée ». Pour cette valeur, ExternE (1995) a obtenu environ 17 millions F alors que Desaignes et Rabl (1995) ont abouti à une valeur de 5,5 millions F, après une analyse économétrique. Ainsi dans l'étude de Rabl (1999), la valeur de 5,5 millions F a été retenue. En prenant cette dernière valeur, l'estimation économique en termes de mortalité a été faite en se basant sur la réduction d'espérance de vie.

Le papier de Rabl (2005) sur la mortalité due à la pollution de l'air, s'est intéressé à l'interprétation des études épidémiologiques sur cette mortalité et le choix des indicateurs de quantification de l'impact. L'auteur montre que l'impact sur la mortalité totale, mesuré par des études de cohorte, peut seulement être quantifié en termes de perte d'espérance de vie (PEV), non pas en termes de nombre de décès prématurés. Pour lui, les études en séries temporelles sur la mortalité observent seulement les impacts aigus que sont les décès dus à l'exposition de court terme ; ces études permettent l'estimation du nombre de décès sans aucune information sur la PEV par décès. Il précise que même si la perte moyenne par décès est aussi longue que 6 mois, la mortalité aiguë est un très petit pourcentage de la mortalité totale attribuable à la pollution de l'air. Les estimations de la PEV due à la pollution de l'air, de la population moyenne, sont fournies pour la mortalité aiguë, la mortalité totale adulte et la mortalité infantile. Rabl (2005) s'est basé sur les études théoriques<sup>29</sup> de Fung et al. (2005a, 2005b) car elles constituent un guide précieux pour les études de la population. De ces études, l'auteur a fait un certain nombre d'observations. D'abord, il montre que d'après le modèle 1 de Fung et al, la pollution agit seulement sur les individus fragiles, sans affecter les candidats du groupe fragile ; donc la PEV par décès est de même ordre de grandeur que le temps résidentiel moyen du groupe fragile. Ensuite, il observe selon le modèle 2,

<sup>28</sup> Apheis est le projet : Air Pollution and Health-A European Information System

<sup>29</sup> Voir Fung et al (2005) pour les différents modèles théoriques de base.

que s'il n'y a aucune population fragile, la pollution peut tuer aussi bien les individus sains que ceux qui sont fragiles, donc la PEV par décès a une large distribution, en conséquence le risque relatif est le même pour toute échelle de temps. Enfin, il fait la remarque que d'après les modèles 3 à 5, la pollution agit de deux façons, d'abord elle permet d'accroître les candidats pour le groupe fragile, donc de tuer les individus du groupe fragile. De plus, dans ces modèles la PEV par décès est plus grande que pour le modèle 1, mais une interprétation explicite en termes de la PEV, n'est pas évidente. De même, le lien avec l'échelle de temps n'est pas clair, par exemple si la séquence de pollution comprend deux jours avec une forte pollution, qui sont séparés par un mois, dans un modèle avec temps résidentiel moyen dans un groupe fragile d'une année, il y a trois échelles de temps à savoir : jour, mois et année (Rabl, 2005).

Jusot et al. (2006) ont effectué une estimation de la mortalité due aux particules ( $PM_{10}$ ) dans les neuf villes françaises qui ont participé au programme européen Apehis<sup>30</sup>. Les auteurs précisent que la relation entre pollution de l'air et la mortalité est admise et permet de ce fait de réaliser des Evaluations d'Impact Sanitaire (EIS). En suivant la méthodologie de l'OMS pour ces EIS, Jusot et al (2006) obtiennent le nombre de décès évitables qui est compris respectivement entre 2 et 4,3 ; 4 et 8,9 ; 15 et 31,5 pour 100.000 habitants, respectivement pour les effets à très court terme (exposition du jour de la veille); à court terme (exposition cumulée sur les 40 jours précédents) et à long terme. Deux scénarii de réduction des concentrations ont été utilisés, l'un abaissant les niveaux journaliers dépassant  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jusqu'à cette valeur seuil ; l'autre diminuant systématiquement les niveaux journaliers de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces deux scénarii sont proches pour les effets à très court terme et court terme. La stratégie de réduction à  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est plus favorable pour les effets de long terme. Il est à noter que la méthodologie suivie est décomposée en plusieurs étapes à savoir :-la quantification de l'exposition-la définition des indicateurs sanitaires-la sélection des fonctions exposition risque correspondant à ces indicateurs sanitaires et -le calcul du nombre de cas attribuables à l'exposition observée dans la population considérée par rapport à une exposition de référence.

Chanel et al (2000) ont effectué une évaluation économique des effets sanitaires de la pollution de l'air en France. Pour eux, la mortalité due à une exposition de long terme représente la majorité des coûts. En se basant sur une sélection de fonctions dose-réponse disponibles dans la littérature, ils ont calculé le nombre de cas de mortalité prématurée attribuables à l'indicateur  $PM_{10}$ . Les auteurs se sont servis du nombre obtenu dans ce cadre pour exprimer les impacts sanitaires en termes monétaires. L'évaluation monétaire de la mortalité a été faite en termes de perte de bien-être sur la base des CAP des individus pour une réduction du risque de mortalité. L'approche de la VED a été utilisée et des enquêtes appropriées ont été conduites et une estimation de 5,9 millions de francs a été retenue comme valeur d'évitement d'un décès. L'évaluation des coûts matériels associés à un décès est estimée par les pertes de consommation induites par ce décès prématuré, soit 82.500 francs par année de vie perdue en moyenne. Les décès relatifs à la mortalité de long terme représentent une perte d'espérance de vie moyenne de 10 ans environ. Ils ont valorisé un décès à environ 825.000 francs sans la prise en compte de l'actualisation. Ces auteurs montrent que les coûts de la pollution de l'air pour la mortalité de long terme, selon l'approche par les pertes de bien-être, avoisinent 190 milliards de francs. Mais quand il s'agit de la méthode d'évaluation par les pertes de consommation, ces coûts s'élèvent à 26 milliards de francs.

Suite à la revue de ces différentes approches méthodologiques et empiriques, nous nous basons sur les approches utilisant la MEC dans cette thèse. Ce choix s'impose à nous dans la mesure où nous ne pourrions pas estimer véritablement les fonctions dose-réponse dans notre contexte actuel dans la ville de Cotonou ; de plus les coûts en termes du nombre de cas de décès semblent ne pas traduire la réalité et ne permettent pas de déduire la VSV.

#### 4.2 Mesure des coûts de mortalité liée à la Pollution Atmosphérique pour Cotonou

Cette section est consacrée à l'évaluation des coûts de mortalité dans un contexte de pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou. D'après la revue présentée ci-haut, cette évaluation requiert

<sup>30</sup> Apehis : "Air Pollution and Health : A European Information System"

une certaine délicatesse. Pour cette mesure des coûts, nous utilisons toujours la méthode d'évaluation contingente car elle nous paraît la plus pratique comparativement à celle des fonctions dose-réponses, dans le contexte de la ville de Cotonou. Ainsi, la méthodologie d'évaluation contingente présentée au chapitre 2 dont une application est faite au chapitre 3, est appliquée ici. Pour ce faire, un questionnaire contingent sert de base afin d'aborder les aspects nécessaires à cette évaluation.

#### 4.2.1 La méthodologie du questionnaire contingent

Le questionnaire d'évaluation contingente utilisé dans ce cadre d'analyse, est celui présenté au chapitre 3. En fait, le questionnaire d'enquête que nous avons administré comprend deux parties, en dehors des questions relatives aux caractéristiques des répondants. La première partie met l'accent sur les questions liées à la morbidité tandis que la deuxième partie s'intéresse à la mortalité. Ainsi, la méthodologie dont il est question ici est celle qui a permis l'élaboration de la deuxième partie du questionnaire. Dans cette partie du questionnaire, les répondants pris en compte sont ceux qui ont au moins 40 ans. Nous avons fait cette option en restant dans la même logique que certains auteurs (Krupnick et al, 2002 ; Desaignes et al, 2007), logique selon laquelle les individus prennent plus conscience de la vie et pensent à la mort à partir du moment ils ont au moins 40 ans. Avant cette limite d'âge, la mort ne semble pas être une préoccupation pour l'individu. Donc, les individus questionnés qui ont moins de 40 ans n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation portant sur la mortalité. Les différentes questions abordées dans cette rubrique débutent à partir de Q40 dans le questionnaire. Au niveau de cette deuxième partie, on note deux sous-parties. La première sous-partie cherche à comprendre la perception des répondants par rapport à la notion de probabilité de décès ou risque de décès. Pour ce faire, nous nous sommes servis des grilles de probabilité construites à cet effet (voir annexe 2.3). La seconde sous-partie présente le scénario contingent favorisant la connaissance des CAP mensuels dans un objectif de réduction de la probabilité de décès. Ce scénario est décrit dans l'encadré 2 ci-dessous. Au fait, ce scénario propose aux répondants ayant au moins quarante ans, de payer pendant les dix prochaines années pour un traitement médical qui pourrait réduire leur risque de décès du fait de la pollution de l'air. Le traitement médical en question n'est pas spécifié dans le questionnaire. Il a été demandé aux individus qui acceptent de recevoir ce traitement, de payer mensuellement les 1/30 de leur revenu (ceci revient à sacrifier un jour de son revenu). Si ces derniers sont d'accord, il leur a été proposé de contribuer pour les 2/30 du revenu par mois (ceci correspond à deux jours de revenu qui seraient sacrifiés). Dans le cas où l'individu accepte cette proposition, une dernière proposition lui est faite correspondant à une contribution de 3/30 de son revenu ; représentant un sacrifice de trois jours de revenu par mois. Dès que l'individu n'est pas d'accord pour une proposition donnée, il lui a été demandé de préciser son CAP maximal pour recevoir ce traitement médical. Enfin, le questionnaire aborde la notion d'espérance de vie. Ainsi, les questions sont ouvertes. Il a été demandé aux répondants s'ils sont prêts à payer pour le traitement médical dans une optique de vivre un peu plus longtemps. Si la réponse est affirmative, l'individu est amené à préciser son CAP en fonction des limites d'âge qui lui sont proposées.

##### **Encadré 2 : Scénario contingent relatif à la mortalité**

Il a été démontré qu'il y a une relation entre la pollution de l'air, l'âge et le niveau de mortalité. Donc dans une situation de pollution de l'air continue, le risque de décès est important.

Seriez-vous prêt à payer pour un traitement médical contre la pollution de l'air pendant les 10 prochaines années, ce qui réduirait votre risque de décès jusqu'au niveau actuel de 10/1000 sur la période de 10 ans?

Si Réponse Q43 = NON ou Ne sait pas, quelles sont vos raisons ?

Si Réponse Q43 = OUI, Comme votre revenu mensuel se situe entre (voir et rappeler sa réponse ci-haut) ;

Seriez-vous prêt à payer les 1/30 de votre revenu mensuel par mois pour le traitement ?

(voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre des tranches de revenu du chef de ménage)

Si Réponse Q44a = NON ou Ne sait pas, PASSER A Q45

Si Réponse Q44a = OUI

Seriez-vous prêt à payer en moyenne les 2/30 de votre revenu mensuel par mois pour le traitement médical? (voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre des tranches de revenu du chef de ménage)

Si Réponse Q44b = NON ou Ne sait pas, PASSER A Q45

Si Réponse Q44b = OUI

Serez-vous prêt à payer les 3/30(1/10) de votre revenu mensuel par mois pour le traitement ?

(voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre des tranches de revenu du chef de ménage)

PASSER A Q45 : Quel montant maximal seriez-vous prêt à payer par mois pour un tel traitement?

#### 4.2.2 La description de quelques variables

En dehors des variables dont nous avons fait cas au chapitre précédent, d'autres variables sont intervenues dans la deuxième partie du questionnaire d'enquête. On retrouve donc les variables ci-après :

- la variable « **Malactu** » traduit la maladie dont souffre le répondant lors de l'administration du questionnaire. Cette variable est dichotomique car elle prend la valeur 1 si l'individu déclare l'une des maladies spécifiées et la valeur 0 s'il n'est pas du tout malade ;
- la variable « **Mtauxmortpoll** » représente le taux de mortalité présumé par l'individu compte tenu de sa perception de la pollution atmosphérique dans la ville de Cotonou. Elle présente quatre modalités : 1-) 5/1.000, 2-) 10/1.000, 3-) 15/1.000 et 4-) 20/1.000 ;
- la variable « **Mrisqdecelv** » traduit la perception de l'individu par rapport au risque de décès le plus élevé. La variable est dichotomique qui prend la valeur 1 si le choix du répondant est 15/1.000 (Individu A) et la valeur 2 si son choix est 20/1.000 (Individu B) ;
- la variable « **Mchoixind** » retrace le choix effectué par le répondant par rapport à la probabilité de décès. Cette variable prend deux valeurs 1 (choix Individu A) et 2 (choix Individu B) ;
- la variable « **Mtraitmed10** » est une variable polytomique prenant trois modalités (oui, non et ne sait pas), retraçant la participation à un programme de traitement médical afin de réduire le risque de décès ;
- la variable « **Mcapmax** » traduit le montant maximal qu'un individu est prêt à payer à payer pour recevoir le traitement proposé. Cette variable est continue ;
- la variable « **Mtraitmedprvivr** » représente la variable à trois modalités (oui, non et ne sait pas) traduisant la participation de l'individu à un programme de traitement afin de vivre un peu longtemps ;

- la variable « **Mcapmax1prvivr** » représente le CAP maximal pour recevoir le traitement médical afin d'augmenter l'espérance de vie de l'individu de 5 ans à partir de 70 ans. C'est une variable continue ;
- la variable « **Mcapmax2prvivr** » représente le CAP maximal pour recevoir le traitement médical afin d'augmenter l'espérance de vie de l'individu de 10 ans à partir de 60 ans. C'est une variable continue.

#### 4.2.3 Les statistiques descriptives des variables relatives à l'évaluation de coût de mortalité

Compte tenu de la limite d'âge définie dans la partie du questionnaire relative à la mortalité, les statistiques que nous présentons sont liées au sous-échantillon correspondant. Ainsi, d'après nos résultats en annexe 6.1, les répondants du sous-échantillon considéré sont au nombre de 196. Alors, ceux qui ont au moins quarante ans représentent environ 34% des individus de l'échantillon de base. Il est à noter qu'une question est posée au répondant (Q39) pour s'assurer que l'individu a au moins quarante ans conformément à son âge qu'il avait déclaré ci-haut dans le questionnaire.

La répartition des répondants concernés ici, selon le sexe se présente comme l'indique le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Répartition des répondants âgés d'au moins 40 ans selon le sexe

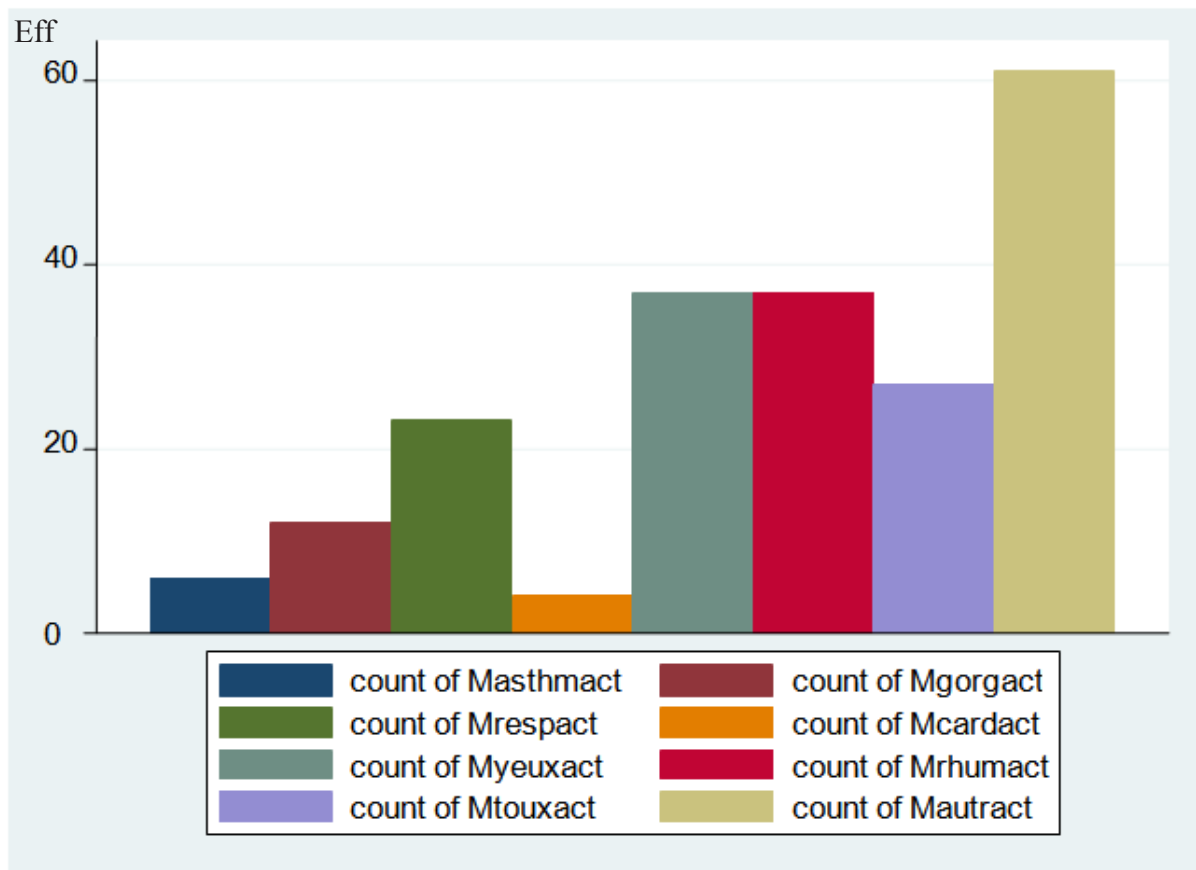
Sexe	Effectifs	Fréquences (%)
Femmes	68	34,69
Hommes	128	65,31
Total	196	100

*Source : Résultats d'enquête selon l'annexe 6.2*

Il ressort de ce tableau qu'environ 65% des répondants ayant au moins quarante ans sont des hommes tandis que les femmes dont l'âge est supérieur ou égal à 40 ans représentent à peu près 35%.

Les individus de ce sous-échantillon ont déclaré être en train de souffrir d'un certain nombre de maladies lors de l'administration du questionnaire. Ainsi, d'après le résumé sur les variables traduisant ces maladies en annexe 6.3, on déduit le graphique 4.1 à partir des résultats d'enquête.

Graphique 4.1 : Répartition des individus d'au moins 40 ans selon les maladies déclarées



Source : Construction de l'auteur à partir des données d'enquête

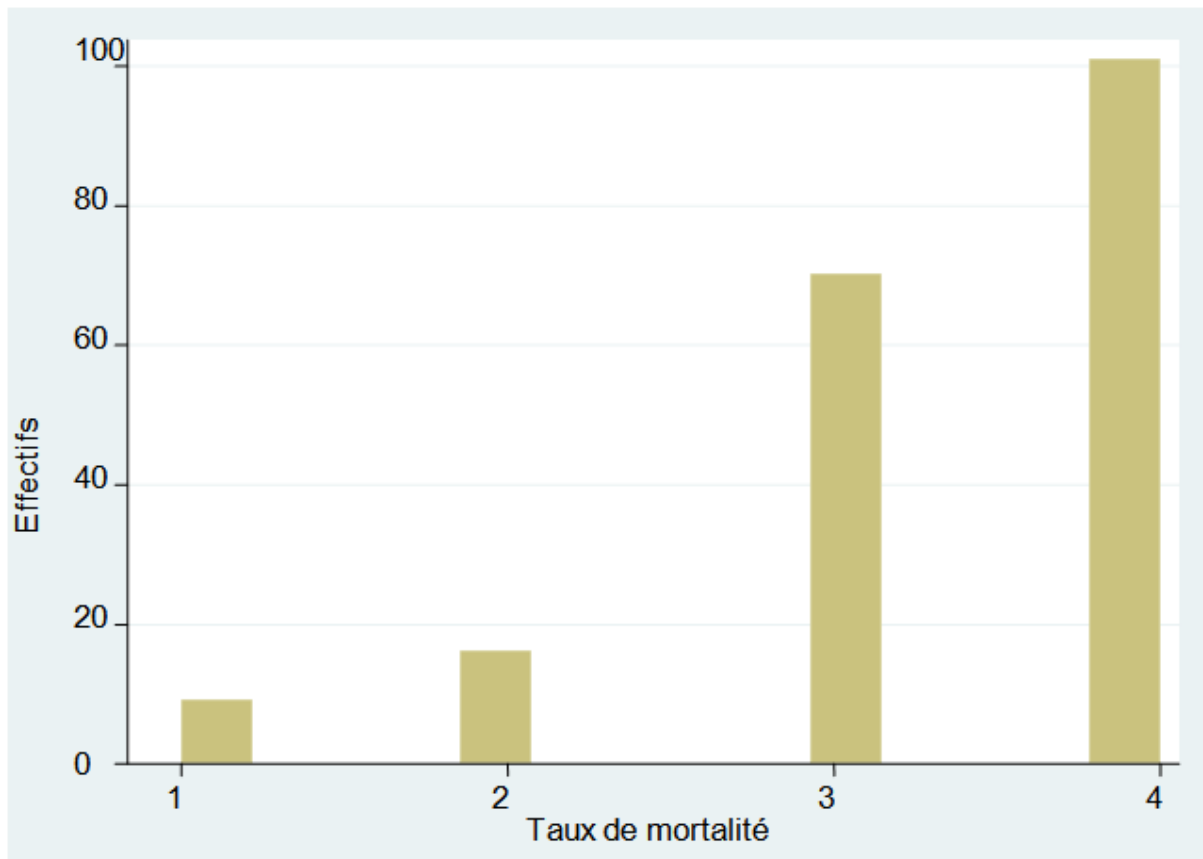
D'après ces résultats, sur les 196 individus considérés dans notre sous-échantillon, environ 3,1% ont déclaré souffrir de l'asthme et 6,12% ont déclaré souffrir des maux de gorge. Environ 12% des individus âgés d'au moins 40 ans ont déclaré une souffrance de douleurs respiratoires, tandis que 2% seulement ont déclaré les maladies cardiaques. Ceux qui ont déclaré souffrant des maux d'yeux représentent à peu près 19% et il en est de même que les individus ayant déclaré le rhume. 14% des répondants ont déclaré une souffrance de la toux, alors que les individus ayant déclaré d'autres maux représentent environ 31%. Il faut remarquer que certains individus ont déclaré plus d'une maladie.

En considérant les individus ayant déclaré au moins une des maladies ou autres, la description de la variable « Malactu » (en annexe 6.4-a) montre qu'environ 73% des individus âgés d'au moins 40 ans ont fait de déclaration, contre 27% qui n'en ont pas fait.

En ce qui concerne la variable « Mtauxmortpoll », le graphique 4.2 obtenu à partir des résultats d'enquêtes (annexe 6.4-b), illustre comment les individus ayant au moins 40 ans perçoivent le taux de mortalité en fonction de la situation de la PA à Cotonou.



Graphique 4.2 : Répartition des individus d'au moins 40 ans selon les taux de mortalité



Source : Construction de l'auteur à partir des données d'enquête

Sur ce graphique, les nombres 1, 2, 3 et 4 en abscisse correspondent respectivement aux taux de 5/1.000, 10/1.000, 15/1.000 et 20/1.000. Il est demandé aux répondants de se prononcer sur le taux de mortalité dans la ville dans les dix prochaines années compte tenu de la pollution qui bat son plein. Selon ce graphique il ressort que la majorité des répondants estiment que dans les dix prochaines années, il y aura une augmentation du taux de mortalité. Ainsi, environ 36% des répondants prévoient une augmentation de 5/1.000 (passant de 10/1.000 à 15/1.000) et 51% à peu près estiment une augmentation de 10/1.000 (passant de 10/1.000 à 20/1.000). Alors, on constate qu'environ 87% des individus concernés (171 individus sur les 196) pensent que le taux de mortalité augmentera dans les dix prochaines années. Nous rappelons que la notion de taux de mortalité ou probabilité de décès est présentée aux répondants à travers les grilles présentées en annexe 2.3. Chaque cas de grilles présente 1.000 carreaux correspondant à une population de taille 1.000, puis un certain nombre de carreaux sont en couleur rouge traduisant le nombre de décès. Ainsi, les probabilités de décès 5/1.000, 10/1.000, 15/1.000 et 20/1.000 correspondent aux cas où il y a respectivement cinq, dix, quinze et vingt carreaux de couleur rouge. Sur le graphique 4.2, on note que les individus qui ne perçoivent aucune modification du taux de mortalité représentent 8% alors que ceux qui pensent que le taux connaîtra une diminution dans les dix prochaines années, font à peu près les 5% des répondants. Pour s'assurer de la compréhension de la notion de probabilité de décès, par les répondants, la description de la variable « Mrisqdecelv » est faite.

Concernant la variable « Mrisqdecelv », les résultats (en annexe 6.4-c) montrent que tous les 196 individus ayant au moins 40 ans ont pu se prononcer sur la question du choix du risque le plus élevé. Par rapport à leur point de vue sur le risque de décès le plus élevé entre les Individu A (probabilité de décès : 15/1.000) et Individu B (probabilité de décès : 20/1.000), 91,33% ont choisi l'Individu B contre 8,67% qui ont porté leur choix sur l'Individu A. Cela montre comment un bon nombre important de répondants ont une bonne compréhension de la notion de risque de décès. Cette bonne compréhension est confirmée par les résultats présentés en annexe 6.4-d. Ainsi, une fois les répondants ont porté leur

choix sur l'Individu A ou l'Individu B, il leur est demandé de préciser lequel des deux Individus il préfère être. Face à cette question, d'après l'annexe 6.4-d les répondants qui ont choisi l'Individu A représentent 92% environ tandis que 8% de ces répondants ont porté leur choix sur l'Individu B. Ces résultats indiquent effectivement que les individus ont globalement une très bonne compréhension de la notion de risque de décès ou de probabilité de décès.

En ce qui concerne la variable « Mtraitmed10 » retraçant la participation des répondants à un programme de traitement médical pendant les dix prochaines années dans l'optique d'une réduction du risque de décès jusqu'au niveau actuel de 10/1.000, les résultats en annexe 6.4-e donnent des informations utiles. Ainsi, ceux qui sont prêts à participer à un tel programme représentent 84% des répondants concernés, contre 16% qui ne veulent ou ne savent pas. Alors, on peut conclure que tous les répondants qui ont perçu une augmentation du taux de mortalité pendant les dix prochaines années, n'ont pas tous accepté de participer au programme de traitement médical. Les résultats en annexe 6.4-f montrent que c'est 89% des répondants voyant un taux de 15/1.000 les dix prochaines années, qui ont accepté une participation au programme. Aussi, 88% des répondants ayant perçu un taux de 20/1.000 les dix prochaines années, ont-ils accepté une participation au programme de traitement médical (voir annexe 6.4-g).

La variable « Mcapmax » qui traduit le CAP maximal que les répondants sont prêts à payer pour une participation au programme de traitement médical pouvant réduire le risque de décès, est décrite en annexes 6.4-h et 6.4-i. De l'analyse de ces résultats, on note que le CAP maximal varie entre zéro et soixante mille francs cfa, et que le CAP maximal moyen vaut 6.200 FCFA avec un écart-type de 9.425,53 FCFA. De plus, 12,24% des individus considérés (24 répondants sur les 196) ont un CAP nul contre 87,76% dont le CAP est différent de zéro.

Par ailleurs, il a été demandé aux répondants s'ils sont prêts à payer pour un traitement médical dans l'espoir de vivre un peu plus longtemps (augmenter l'espérance de vie). Ainsi, les résultats correspondants à cette préoccupation se présentent en annexe 6.4-j. D'après ces résultats, 86% environ des répondants ont accepté de participer au programme de lutte contre la pollution dans une perspective d'augmenter leur espérance de vie. 14% de ces répondants n'en veulent ou ne savent pas. Ce taux de réponse positive n'est pas négligeable ; il est supérieur de 2% à celui de réponse positive au cas de probabilité de décès. On pourrait dire que l'approche en termes d'espérance de vie abordée semble être plus comprise que celle relative à la probabilité de décès.

D'après les résultats en annexe 6.4-k, le CAP maximal mensuel que les individus âgés d'au moins 40 ans, sont prêts à payer afin d'augmenter leur durée de vie de 5 ans à partir de 70 ans, varie de zéro à cent cinquante mille FCFA avec une moyenne de 8.169 FCFA avec un écart type de 14.677 FCFA. Les 14% des individus qui ne savent ou ne veulent donner aucune contribution (28 répondants sur les 196), ont un CAP nul. De même, en annexe 6.4-l, les résultats relatifs au CAP maximal mensuel dans une optique d'augmenter la durée de vie de 10 ans à partir de 60 ans, sont présentés. Les statistiques descriptives montrent que le CAP maximal mensuel considéré, a une moyenne de 9.171 FCFA avec un écart type de 18.763 FCFA, tout en variant de zéro franc CFA à 2.000.000 FCFA.

Il est nécessaire d'estimer le CAP maximal moyen par mois pour avoir une idée sur le coût que supportent les individus dans la ville de Cotonou du point de vue mortalité, dans un contexte de la pollution de l'air.

#### 4.2.4 L'estimation du CAP dans le cadre des effets de la pollution sur la mortalité

Dans une méthode d'évaluation contingente, il est recommandé que des suites de questions fermées soient bouclées par une question ouverte. Cette recommandation (Arrow et al., 1993) nous a amené à poser une question ouverte sur le CAP maximal mensuel de l'individu, après lui avoir posé des séries de questions fermées relatives au CAP mensuel représentant respectivement 1/30, 2/30 et 3/30 du

revenu de cet individu. Pour une raison de simplification des problèmes économétriques qui seraient liés aux séries de CAP mensuel, nous centrons nos analyses sur le CAP maximal par mois des individus concernés dans cette partie. Les CAP considérés ici sont relatifs aux individus âgés d'au moins 40 ans. Cette façon de procéder peut introduire un problème de biais de sélection d'échantillon qu'on ne peut occulter.

#### 4.2.4.1 Le problème de sélection d'échantillon et le modèle économétrique

Dans notre estimation une partie de l'échantillon de base, présente un risque de biais de sélection. Le biais de sélection existe lorsque la présence d'une observation dans l'échantillon est déterminée par un ou des facteurs extérieurs. Dans une pareille situation, il faut utiliser la méthode de Heckman (1979) pour la correction du biais de sélection. En fait la détection de ce biais est intuitive. Une fois ce biais identifié, l'usage d'un modèle de sélection est nécessaire. Dans un modèle de sélection, le phénomène de censure est basé sur la valeur d'une variable différente de la variable dépendante. Ainsi de façon formelle, le modèle de sélection que nous utilisons se présente comme suit :

Pour notre estimation, le « *Mcapmax* » est la variable dépendante et nous supposons que les valeurs zéros de cette variable sont valides. Nous avons généré une variable dichotomique « *Ind* » qui prend la valeur 1 lorsque l'âge de l'individu est supérieur ou égal à 40 ans et 0 sinon. Ici le « *Mcapmax* » n'est observé que si « *Ind* » prend la valeur 1. On a donc le modèle [M4.1] suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} Mcap \max_i = X_i \beta + \varepsilon_i \\ Ind_i^* = Z_i \gamma + \mu_i \\ Avec \quad \begin{cases} Ind_i = 1 & si \quad Ind_i^* > 0 \\ Ind_i = 0 & si \quad non \end{cases} \end{array} \right. \quad [M4.1]$$

La dernière égalité de ce modèle est l'équation principale tandis que les autres relations désignent la règle de sélection. La variable *Ind*<sup>\*</sup> est une variable latente. Les variables réellement observées sont « *Mcapmax* » et « *Ind* ». Les termes d'erreurs  $\varepsilon_i$  et  $\mu_i$  sont indépendants de *Z* (exogénéité de *Z*). On a :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_i \\ \mu_i \end{pmatrix} \square N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Sigma \right) \quad \text{où} \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1 \\ \rho\sigma_1 & 1 \end{pmatrix}$$

$\rho$  est la corrélation entre  $\varepsilon_i$  et  $\mu_i$ . La variance de  $\mu_i$  égale à 1 est imposée parce que seul le signe de *Ind*<sup>\*</sup> est observé. On montre que :

$$E (Mcap \max / Ind = 1) = X_i \beta + \rho \sigma \frac{\varphi(Z_i \gamma)}{\phi(Z_i \gamma)} \quad [M4.2]$$

$\varphi(\cdot)$  et  $\phi(\cdot)$  sont respectivement la fonction de densité et la fonction de répartition de la loi normale.

L'estimation de ce modèle passe par la procédure en deux étapes de Heckman (1979). Dans une première étape, on estime un modèle Probit ordinaire en se basant sur l'ensemble de l'échantillon (584 individus) puis on déduit le ratio inverse de Mills  $\hat{\lambda}_i = \varphi(Z_i\hat{\gamma}) / \Phi(Z_i\hat{\gamma})$  (le régresseur de sélection). Dans une seconde étape on estime par les MCO la dernière équation du modèle en introduisant le ratio inverse de Mills comme une variable explicative, tout en se basant sur les 196 observations pour lesquelles  $Ind = 1$ . On estime donc :

$$Mcap \max_i = X_i\beta + \rho\sigma\hat{\lambda}_i + \varepsilon_i \quad [M 4.3]$$

Si  $\rho$  est significativement nul, alors il n'y a pas de biais de sélection et peut estimer par les MCO.

Quels sont alors les déterminants du CAP maximal mensuel pour une réduction possible du risque de décès à son niveau actuel sur les dix prochaines années ?

#### 4.2.4.2 Les déterminants du CAP maximal pour une réduction du taux de décès

Plusieurs variables permettent d'expliquer le CAP maximal des individus âgés d'au moins 40 ans. L'estimation du modèle de sélection avec règle de sélection Probit, éclaire sur celles qui sont déterminantes. Nous procédons à cette estimation en deux étapes. D'abord nous estimons le modèle Probit de l'équation de sélection, puis nous calculons le ratio de Mills que nous introduisons comme variable explicative dans l'équation du CAP maximal. Les résultats en annexe 6.5 présentent les deux étapes pour une vérification du biais de sélection. Dans la première étape les résultats du modèle Probit estimé montrent que globalement ce modèle est significatif [Wald  $\chi^2(6) = 71.53$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0000$ ]. De plus, les variables significatives du modèle Probit, c'est-à-dire celles qui expliquent la probabilité qu'un individu ait au moins 40 ans, sont : *sitmat2*, *sitmat3*, *sitmat4* et *rev*. Il s'agit donc des situations matrimoniales et du revenu qui contribuent significativement à l'explication de la probabilité d'avoir au moins 40 ans. En deuxième étape, nous avons généré la variable *lambda1* qui désigne l'inverse du ratio de Mills que nous avons introduit dans le modèle MCO d'explication de la variable *Mcapmax*, en prenant en compte les individus ayant au moins 40 ans ( $Ind=1$ ). Ce modèle MCO est globalement significatif [F( 8, 187) = 4.99; Prob > F = 0.0000]. Mais le coefficient de la variable *lambda1* représentant l'inverse du ratio de Mills n'est pas significatif. Cela signifie qu'il n'y a pas de biais de sélection. Donc, le fait d'avoir pris uniquement en compte les individus âgés d'au moins 40 ans dans l'analyse de la mortalité n'introduit aucun biais. Par conséquent, l'estimation du le modèle de CAP maximal par les MCO donne alors des estimateurs convergents.

Malgré l'absence d'un biais de sélection, un problème de biais de simultanéité peut se poser. Alors, nous procédons à l'estimation du modèle d'explication de CAP maximal sous STATA 10, par la méthode *Heckit* en vue de la prise en compte d'un tel biais. Le tableau 4.3 présente l'extrait des résultats obtenus (voir annexe 6.6). D'après ces résultats, le modèle est globalement significatif [Wald  $\chi^2(8) = 41.64$  ; Prob >  $\chi^2 = 0.0000$ ]. Pour « rho » différent de zéro les deux équations du modèle ne sont pas indépendantes. Si « rho » était nul, alors les deux équations du modèle seraient indépendantes et leur estimation séparée serait raisonnable. Mais dans notre cas « rho » n'est pas significatif, l'utilisation de la méthode *Heckit* semble non justifiée. D'ailleurs cette façon de procéder par la méthode *Heckit* constitue en réalité une estimation du modèle Tobit de type II, selon Amemiya (1985) et repris par Wooldridge (2002). Comme « rho » n'est pas significativement différent de zéro dans notre cas [(rho = 0):  $\chi^2(1) = -0.00$  ; Prob >  $\chi^2 = 1.0000$ ], il n'y a aucun biais de simultanéité. Les estimateurs de MCO seront donc convergents.

Tableau 4.3 : Résultats d'estimation du modèle Tobit du type II

Variabes	Coefficients	Ecart-types
<b>Mcapmax</b>		
rev	0,1281682***	0,0224293
Malactu	-669,4664	1392,829
age	155,8134	712,5133
agecar	-1,098986	6,50049
temptshabit	-37,16428	42,87515
fumeur	2070,182	2023,076
sex	-2,72324	1361,121
airpollue	-4134,629	3968,327
_cons	-1729,643	19255,56
<b>Select</b>		
<b>Ind</b>		
rev	-3,74e-09	0,0145761
sitmat2	-0,000401	856,503
sitmat3	0,0022931	2242,466
sitmat4	0,0028556	2415,95
fumeur	-0,0007781	1156,138
precautionpoll	-0,0004902	826,8547
_cons	-6,114376	1099,099
LR test d'indépendance des équations ( $\rho = 0$ ): $\chi^2(1) = -0.00$ Prob > $\chi^2 = 1.0000$		
Nombre d'observations = 584 ; Nombre d'observations censurées = 388		
Nombre d'observations non censurées = 196,		
Wald $\chi^2(8) = 41.64$ ; Prob > $\chi^2 = 0.0000$		

\*\*\* significatif à 1 %

Source : Extrait de l'annexe 6.6

D'après ces résultats, seule la variable « revenu » est significative au seuil de 1%. Il est à noter que le modèle lui-même est globalement significatif [ $F(8,187) = 5,75$ ; Prob >  $F = 0,0000$ ]. Selon les résultats en annexe 6.8 sur les effets marginaux, on peut dire que suite à une augmentation d'un franc CFA du revenu de l'individu, le CAP maximal augmente de 0,13 FCFA. Cela suppose que lorsque les individus

ont un revenu important, leur contribution pour un traitement médical dans un cadre de lutte contre la pollution, serait importante. Ainsi, le CAP maximal évolue positivement avec le niveau du revenu ; ce qui confirme une fois encore la théorie économique.

En vue de prédire le CAP maximal moyen, il faut prédire d'abord la probabilité de participation au programme de traitement médical.

#### 4.2.4.3 Prédiction du CAP maximal moyen pour une réduction du taux de mortalité

Pour cette dérivation du CAP maximal moyen, il est nécessaire d'estimer la probabilité de participation au programme de traitement. Ainsi, un modèle de probabilité est fondamental. Nous choisissons le modèle Probit dont la variable dépendante est celle qui traduit la participation au programme.

Le Probit est basé sur l'hypothèse que les erreurs  $\varepsilon_i$  sont normalement distribuées

$$[\varepsilon_i \rightarrow N(0, \sigma^2)]$$

En considérant une fonction linéaire  $Y_i = X_i + \varepsilon_i$ ,  $Y_i$  est la variable dépendante non observable,  $X_i$  un ensemble de caractéristiques de l'individu  $i$ ,  $\beta$  est le vecteur des paramètres et  $\varepsilon_i$  l'erreur. On introduit une variable latente  $Y^*$  ; non observable mais perçue par l'enquête et indiquant l'utilité associée à l'occurrence du phénomène. En prenant  $Y^*$  comme un indice dont les grandes valeurs sont associées à des probabilités plus élevées de réalisation du phénomène, on a :

$$\begin{cases} Y_i = 1 & \text{si } Y_i^* > 0 \\ Y_i = 0 & \text{si } Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad [M 5.1]$$

La variable  $Y_i^*$  devient une fonction dépendante des variables indépendantes  $X_i$  telles que :  $Y_i = X_i + \varepsilon_i$ . Ainsi, on a :

$$\begin{aligned} \text{Pr ob}(Y_i = 1) &= \text{Pr ob}(Y_i^* > 0) = \text{Pr ob}(X_i\beta + \varepsilon_i > 0) \\ &= \text{Pr ob}(\varepsilon_i > -X_i\beta) \\ &= \text{Pr ob}(\varepsilon_i / \sigma > -X_i\beta / \sigma) \end{aligned} \quad [M 5.2]$$

La distribution étant symétrique dans le cas du modèle Probit, donc

$$\text{Pr ob}(\varepsilon_i / \sigma > -X_i\beta / \sigma) = \text{Pr ob}(\varepsilon_i / \sigma < X_i\beta) = \text{Pr ob}(Y_i = 0)$$

D'où on a :

$$\text{Pr ob}(Y_i = 0) = 1 - \text{Pr ob}(Y_i = 1)$$

Pour estimer le modèle Probit de participation au programme de traitement médical pour une réduction du taux de mortalité suite à une réduction de la pollution de l'air ; nous avons défini la variable « *particip* » comme celle de participation. Elle prend la valeur 1 si l'individu accepte de participer au programme et la valeur 0 si non. Cette participation dépend d'un certain nombre de variables explicatives. La plupart de ces variables sont binaires ou indicatrices. L'extrait des résultats d'estimation en annexe 6.9, est présenté dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Résultats d'estimation du modèle Probit de participation au programme

Variables	Coefficients	t	P >  t
<i>particip</i>			
niv2	0,7164516**	2,34	0,019
niv3	0,241453	0,58	0,560
niv4	0,0902213	0,28	0,777
Mchoixind	-0,6860187*	-1,86	0,064
rev	7,22e-06	1,53	0,126
Malactu	.2438634	0,96	0,338
airpollue	-0,2714931	-0,40	0,691
_cons	1,112867	1,21	0,226
Nombre d'observations = 196 ; LR chi2 = 20,16; Prob > chi2= 0,0052 ; Pseudo R2 = 0,1178			

\*\* significatif à 5 % ; \* significatif à 10 %

Source : Extrait de l'annexe 6.9

De l'analyse de ces résultats, on note que le modèle est globalement significatif [LR chi2 = 20,16; Prob > chi2= 0,0052]. De plus, deux variables sont significatives à savoir : « niv2 » (significatif à 5%) et « Mchoixind » (significatif à 10%). Autrement dit lorsque l'individu atteint le niveau d'étude secondaire, sa probabilité de participer au programme de traitement médical pour réduire le taux de mortalité augmente par rapport au cas où il serait de niveau primaire. Ce résultat montre que si l'individu est un peu plus instruit par rapport au niveau primaire, sa compréhension du programme proposé, est plus aisée et donc sa contribution plus probable. De même, la probabilité de participation au programme diminue avec la compréhension du taux de mortalité. Ce résultat est raisonnable dans la mesure où le répondant qui choisi être l'Individu A (dont la probabilité de décès est 15/1.000) par rapport à celui qui choisi le second cas (Individu B dont la probabilité de décès est 20/1.000) voit ses chances de décès plus faibles et donc sa probabilité de participation au programme diminuer. Enfin, la table de prédiction en annexe 6.10, présente un bon taux de prédiction du modèle qui est de 85,20%.

Il faut noter que c'est la dérivation de CAP maximal moyen qui constitue la préoccupation dans cette sous-section. Ainsi, pour atteindre cet objectif, nous procédons au calcul de ce CAP maximal moyen. Le calcul prend en compte l'ensemble de l'échantillon relatif aux individus âgés d'au moins 40 ans. Pour ce faire, nous avons prédit le CAP maximal à partir de la régression linéaire (voir annexe 6.7-b) et la probabilité de participation à partir du modèle Probit (voir annexe 6.9). Enfin, le détail du calcul permettant l'obtention du CAP maximal moyen est fait en annexe 6.11. Il ressort que le CAP maximal moyen vaut **5.832 FCFA/mois** par individu. Ce CAP maximal moyen constitue la contribution maximale moyenne qu'un individu âgé d'au moins 40 ans, est prêt à faire mensuellement pour recevoir un traitement médical. Nous rappelons que le traitement médical est prévu dans l'optique de réduire la probabilité de décès de 5/1.000 ou de 10/1.000 sur une période de dix ans. Autrement dit, pour réduire le taux de mortalité due à la pollution de l'air sur les dix prochaines années à son niveau de 2010, chaque individu de la population de Cotonou âgé de 40 ans au moins, est prêt à supporter donc un **coût de 5.832 FCFA/mois par chef de ménage**. Ce coût est un peu plus faible que celui obtenu par Chanel et al. (2004) qui vaut 69,7 euros/mois (45.720 FCFA environ) par ménage pour l'ensemble des effets de la pollution de l'air. Le résultat de ces auteurs correspond environ à 8 fois celui que nous avons obtenu. Cela peut se justifier par le fait que ces auteurs ont fait une évaluation en considérant tous les effets de la pollution de l'air d'une part, et d'autre part l'environnement de l'étude n'est pas le même (par exemple les niveaux de vie et de revenu ne sont pas les mêmes). Krupnick et al (2002) quant à eux, ont obtenu

pour une réduction de risque de 5/1.000 sur dix ans, un coût annuel de 480,8 \$US (ce qui donne à peu près 18.030 FCFA/mois). Leur coût mensuel dépasse légèrement le triple de celui que nous avons obtenu ici.

Dans la même logique que certains auteurs (Desaigues et al, 2007 ; Krupnick, 2002), on peut dériver la VSV pour la ville de Cotonou. Ainsi, l'application de l'équation [E9.1], nous permet cette dérivation. On obtient donc une VSV dans le cas de Cotonou pour une période de dix ans ou soit par an. Sous l'hypothèse que le taux minimum de réduction de la probabilité de décès est de 5/1.000 sur la période de dix ans (correspondant à une réduction de 5/10.000 par an), la VSV est déterminée par le rapport entre le CAP maximal moyen annuel et le taux de réduction puis multiplié par dix (Desaigues et al, 2007 ; Krupnick, 2002). On a donc :

$$VSV = 10 \frac{CAP \text{ maximal moyen} \times 12}{\Delta R}$$

$$= 10 \frac{5.832 \times 12}{0,0005} = 1.399.680.000 FCFA$$

Donc la VSV annuelle relative à la mortalité due à la pollution de l'air, dans la ville de Cotonou pour une réduction de la probabilité de décès de 5/10.000 par an sur une période de dix ans, vaut **139.968.000 FCFA**. Pour une même réduction de risque de 5/10.000 par an sur dix ans, Krupnick et al (2002) ont trouvé une VSV annuelle de à 0,96 million \$US qui vaut à peu près 432.000.000 FCFA correspondant au moins au triple de notre résultat. Cette différence de coût est raisonnable du fait de l'environnement économique qui n'est pas le même ainsi que le niveau des taux de change du dollar avec le franc CFA qui n'est pas fixe. Il est aussi important de noter que dans l'analyse des risques de mortalité, on peut observer des ambiguïtés. Ainsi, Treich (2010) montre que ces dernières peuvent provenir de plusieurs sources et soulever des problèmes de communication et de crédibilité, de manque d'informations à propos de l'hétérogénéité des individus etc. L'auteur démontre particulièrement que l'ambiguïté dans l'aversion au risque accroît la VSV.

*La détermination de la VSV est faite sur la base de la variation de la probabilité de décès dans un contexte de la PA pour la ville de Cotonou et du CAP maximal moyen (représentant le coût qu'un individu âgé d'au moins 40 ans paierait pour recevoir le traitement médical afin de ne pas mourir très tôt). Comme le précise Treich (2005), la VSV correspond au CAP concernant les risques de mortalité dans les études portant sur les préférences révélées ou sur les préférences annoncées. Donc, le coût de mortalité dans une situation de la PA est significativement impacté par la probabilité de décès. Par conséquent, l'hypothèse H3 est validée.*

Dans cette thèse, les résultats se fondent sur les données de l'enquête, que nous avons traitées à l'aide du Logiciel STATA 10. Compte tenu des observations faites et des problèmes rencontrés lors du traitement, il est important de porter quelques critiques sur le questionnaire. Mais avant, il faut retenir que ces critiques n'entravent en rien la validité des analyses faites dans ce travail. Ces critiques s'inscrivent dans une perspective d'amélioration dans le cadre des travaux futurs.

#### 4.2.5 Les critiques du questionnaire global

Il faut reconnaître que le questionnaire global utilisé dans le cadre de la présente thèse est valide, car son élaboration a bénéficié d'importantes expertises. Et comme nous sommes dans une application de la méthode d'évaluation contingente, les recommandations de NOAA Panel, ont été suivies. Le sérieux nécessaire que requiert son élaboration lui a été accordé. Mais dans l'analyse des données issues du dépouillement des questionnaires remplis, nous avons constaté que notre questionnaire gagnerait plus en richesse si certains aspects étaient pris en compte. Ainsi, les questions relatives au revenu du



répondant, demandent à ce dernier d'indiquer la tranche dans laquelle se situe son revenu. L'obtention de la précision des valeurs sur cette variable permettrait de faciliter l'intégration de ces données dans les différents modèles utilisés. La réticence habituelle des enquêtés face aux questions relatives au revenu, conduit à ces genres de situation. Malgré cette situation, la rigueur mise dans le traitement des données, a permis de contourner d'éventuelles difficultés. En ce qui concerne les questions relatives aux maladies, une introduction de questions détaillées par rapport aux adultes déclarés, pourrait aider à un approfondissement de l'analyse dans l'évaluation du CMS. L'utilisation de la méthode DELPHI<sup>31</sup> par exemple, dans le cadre de cette évaluation serait d'un apport certain. Un détail sur des questions relatives au cas de maladies chez les enfants, renforcerait l'évaluation du coût médico-social.

En définitive, ces critiques formulées ne sont pas de nature à remettre en cause le travail qui est réalisé. Nonobstant tout ce qui est dit, le questionnaire que nous avons élaboré pour la rédaction de cette thèse, a bénéficié de l'expertise de plusieurs spécialistes et demeure valable pour servir aux différentes évaluations de coûts abordés dans le document.

## Conclusion

Dans ce chapitre 4, nous avons procédé à une évaluation du coût de mortalité due à la pollution de l'air. Après avoir passé en revue bon nombre de travaux de point de vue empirique, nous avons retenu une méthodologie d'évaluation de ce coût : celle d'évaluation contingente. Pour cette évaluation, les chefs de ménage âgés d'au moins 40 ans sont pris en compte. Pour ce faire, la taille du sous-échantillon considéré est de 196. Les questions abordés pour cette évaluation sont relatives à l'état de santé des répondants, leur compréhension du risque de décès ainsi que celles qui leur permettent de donner leur CAP pour une réduction du risque de décès face à la pollution de l'air. De l'analyse des réponses aux questions, il ressort que les répondants ont une bonne compréhension de ces dernières. Avant l'évaluation proprement dite, une présentation des statistiques descriptives est faite.

Le fait de considérer un sous-échantillon dans cette évaluation, est susceptible d'introduire un biais de sélection et/ou de simultanéité. Pour une vérification de ces problèmes, nous avons fait usage de la méthode d'estimation en deux étapes de Heckman. L'absence des biais constatée, nous a conduits à utiliser le modèle linéaire estimé par les MCO. La variable dépendante dans ce modèle est le CAP maximal que les répondants sont prêts à donner pour recevoir un traitement médical afin que le risque de décès soit réduit. De plus, nous avons prédit la probabilité de participer au programme de traitement médical à partir d'un modèle Probit de participation. Sur la base de ces deux modèles utilisés, nous avons dérivé le CAP maximal moyen qui est de 5.832 FCFA. Ce montant correspond au coût moyen de mortalité par individu et par mois si le risque de décès ne connaît aucune réduction ; autrement dit, il représente le bénéfice en termes de mortalité si le taux de mortalité est réduit. Enfin, nous avons trouvé ce que représente statistiquement la vie d'un individu dans la ville de Cotonou si le risque de décès est réduit de 5/10.000 par an sur une période de dix ans. Cette valeur appelée Valeur Statistique de la Vie (VSV) vaut 139.968.000 FCFA par an. Cela suppose que la réduction du taux de mortalité dans un contexte de la pollution de l'air est bénéfique pour la population.

Enfin, nous avons porté un regard critique sur le questionnaire dont nous nous sommes servis pour la collecte des données. Cette critique est faite dans l'optique d'éventuelles améliorations à apporter pour des études futures.

31 La méthode DELPHI consiste à prendre les avis des experts sur un phénomène et à rechercher une convergence dans leurs réponses, en vue d'une évaluation globale du phénomène.

## Conclusion Générale

Dans la présente thèse, il est effectivement évalué des coûts sanitaires de la pollution atmosphérique. Ces coûts sont de deux catégories ; d'un côté, il y a les coûts relatifs à l'état morbide de l'individu, et de l'autre côté on retrouve des coûts de mortalité. Ces différents coûts peuvent être perçus comme des bénéfices dans une optique de mise en œuvre d'un programme qui réduirait la pollution de l'air, permettant d'améliorer la qualité de l'air. Pour les évaluations effectuées, nous avons suivi des démarches méthodologiques bien précises.

D'abord, quand on parle de la pollution de l'air dont on évalue les coûts, il est normal de situer le cadre théorique global dans lequel nous nous trouvons. Pour ce faire, dans le premier chapitre de cette thèse, cet exercice est fait. Ainsi, une présentation de la théorie des externalités est faite à ce niveau. Cette présentation montre clairement que la pollution de l'air constitue une externalité négative qui génère réellement des coûts sociaux et des coûts privés. En général, les externalités s'observent dans la sphère de la consommation, ainsi que dans celle de la production. La pollution de l'air se retrouvant dans toutes ces sphères, elle constitue donc un véritable problème. L'essentiel des situations dans lesquelles les externalités sont présentes, est détaillé dans ce chapitre. Les externalités en tant que telles, génèrent aussi bien des coûts que des avantages, et ce en fonction de la nature de ces dernières. Compte tenu des problèmes qui se posent en présence des externalités, une internalisation des effets externes s'impose. C'est la raison pour laquelle nous avons parcouru globalement la théorie de l'internalisation des externalités, tout en faisant ressortir dans le chapitre 1, les instruments économiques et ceux non économiques de régulation de ces effets. Donc, la pollution de l'air constitue une externalité négative qui engendre des coûts, ce qui justifie son internalisation de façon continue.

Ensuite, pour évaluer les coûts sanitaires liés à la pollution de l'air, il est raisonnable de connaître ses caractéristiques et ses conséquences possibles. Pour ce faire, dans le chapitre 2, un parcours des contours du concept de la pollution de l'air est fait, afin de mettre en lumière les caractéristiques fondamentales de la pollution. Il ressort de cette analyse que les constituants de l'air qui le rendent pollué, ne sont pas de nature à faire du bien à l'organisme humain. En effet, la pollution de l'air est caractérisée par des composés de carbone, d'azote, de soufre etc., qui directement inhalés, conduisent à des déséquilibres de l'organisme. Ainsi, la pollution atmosphérique a des conséquences sur la santé de l'homme. Une revue documentaire est réalisée pour confirmer cela. Aussi, faut-il noter que la perception de la situation de pollution de l'air par la population de Cotonou, est analysée. De là, le niveau de gravité de la pollution de l'air, choisi par les individus enquêtés est analysé à l'aide d'un modèle logit multinomial. Les résultats issus de cette analyse montrent que la population de Cotonou perçoit ce niveau comme « Modéré » ou « Grave » par rapport à la modalité de référence « Très grave ». Cette perception qu'ont les répondants du niveau de gravité de la pollution de l'air à Cotonou, traduit la réalité que ceux-ci vivent dans ladite ville. Les variables déterminantes de ce modèle sont la profession, le niveau d'étude et l'air pollué. En dehors des conséquences de la pollution de l'air sur l'environnement, les effets sanitaires de cette dernière sur la population sont abordés dans ce chapitre 2. Deux grands effets s'observent généralement à savoir : la morbidité et la mortalité. Ceci nous a amené à passer en revue des théories qui ont fait cas de ces effets. Des modèles théoriques examinés, il ressort qu'une dérivation du CAP est toujours faite, traduisant le coût de l'effet sanitaire retenu. En réalité, il faut retenir que la pollution de l'air est constituée des composés gazeux nocifs et cause des maladies surtout respiratoires à court terme, puis à long terme son effet peut être mortel.

De plus, dans toute évaluation de coûts, une démarche appropriée doit être adoptée. C'est pour ce faire qu'il a été revu dans le chapitre 3, les démarches méthodologiques suivies dans bon nombre de travaux ainsi que leurs résultats empiriques avant d'estimer les différents coûts de morbidité due à la pollution de l'air à Cotonou. Il ressort de cette revue méthodologique que les méthodes qui conviennent dans l'évaluation des coûts de morbidité dans un cadre de la pollution de l'air sont la Méthode d'Evaluation Contingente (MEC) et la Méthode du Coût de la Maladie (MCM). La première permet d'estimer le coût privé ou coût de la souffrance due à la maladie alors que la seconde aide au calcul du coût global de traitement de la maladie. Dans une évaluation plus juste de ces coûts, les deux méthodes se révèlent complémentaires. Ainsi, l'usage de la MEC est fait pour évaluer le coût de la gêne liée à l'état morbide causé par la pollution de l'air. L'application de cette méthode passe par l'élaboration d'un questionnaire contingent. Cette tâche est réalisée et son détail se trouve dans le chapitre 3 ; et il en est de même pour l'administration de ce questionnaire. Tout le sérieux mis dans ces différentes tâches exécutées, a fait que nous avons eu une base de données appréciable pour les analyses. Cette base comprend les CAP des chefs de ménage pour une réduction de la pollution de moitié, ce qui réduirait leur souffrance de moitié. L'analyse de ces consentements à payer à l'aide d'un modèle Tobit censuré et d'un modèle Tobit généralisé a permis, après une analyse comparative des deux modèles, de dériver le CAP moyen qui représente le coût privé dont la valeur est de 1.200 FCFA/mois par individu. Il a été pris en compte le problème d'endogénéité de la variable « revenu ». Les variables déterminantes du modèle Tobit censuré estimé sont : le revenu, le sexe, l'âge et son carré, le projet de déménagement de la ville de Cotonou et le temps d'habitation ; trois de ces variables (revenu, le sexe, le projet de déménagement) et la variable « fumeur » sont celles qui sont significatives au niveau du Tobit généralisé. Les quelques simulations effectuées par rapport au revenu et le temps d'habitation n'ont pas significativement changé les résultats. En se basant sur les coûts de traitement déclarés par les répondants, une évaluation du coût médico-social est faite. Il a été tenu compte également des coûts de perte de revenu et des coûts de traitement des autres adultes du ménage qui sont déclarés avoir été malades. La comptabilité de ces différents coûts, nous a donné un CMS moyen par ménage qui s'élève à 26.544 FCFA par épisode morbide. Alors, le coût économique total de la maladie due à la pollution de l'air dans la ville de Cotonou pour un adulte, vaut en moyenne 27.744 FCFA par mois. Ce coût vaut environ 88,1% du Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti ; ce qui montre jusqu'à quel point la situation ne doit pas être négligée.

Enfin, dans le chapitre 4, l'évaluation effective des coûts de mortalité due à la pollution de l'air dans la ville de Cotonou, est faite. Sur la base des CAP des adultes âgés d'au moins 40 ans dans le cadre d'une réduction de 5/1.000 ou plus, de la probabilité de décès sur un horizon de 10 ans, le coût moyen de mortalité est dérivé. La démarche adoptée pour le traitement des données relatives à cette évaluation nous a amené à vérifier la présence d'un biais de sélection. Pour cela, nous avons utilisé la procédure en deux étapes de Heckman pour voir la significativité du ratio inverse de Mills. Aussi, avons-nous vérifié un éventuel problème de biais de simultanéité, en estimant le modèle *Heckit* (Tobit de type II) par maximum de vraisemblance, tout en observant la significativité du paramètre « rho » de ce modèle. La non significativité du ratio inverse de Mills et de celle de « rho », nous ont conduits à une estimation par MCO, du modèle de CAP dans le cadre de la mortalité. Nous avons complété cette estimation par celle d'un modèle Probit de participation au programme de traitement médical proposé aux répondants, pour obtenir la probabilité moyenne prédite de participation. Il ressort de ces deux estimations que le CAP maximal moyen prédit s'élève à 5.832 FCFA par mois et par individu. Ce montant représente bien le coût moyen de mortalité relatif à une réduction d'au moins 5/10.000 l'an de la probabilité de décès, et sur une période de 10 ans. La Valeur Statistique de la Vie (VSV) est calculée pour les adultes de la ville de Cotonou et vaut 139.968.000 FCFA par an pour une réduction de 5/10.000 l'an du taux de mortalité, dans un contexte de la pollution de l'air.

La contribution de la présente thèse, au regard de tout ce qui précède, se situe à plusieurs niveaux. Premièrement, la thèse constitue une première évaluation empirique de coûts sanitaires de la pollution atmosphérique au Bénin, mettant en exergue les deux effets à savoir la morbidité et la mortalité. Le pré-test que nous avons réalisé lors de l'élaboration du questionnaire de base, montre qu'il est possible d'évaluer les coûts des deux effets. Dans une optique d'éviter le double comptage, une sommation de ces coûts de morbidité et de mortalité, n'est pas envisagée.

Deuxièmement, cette thèse montre empiriquement que le niveau de la pollution de l'air à Cotonou est « grave » et les déterminants de ce niveau de gravité sont identifiés. La perception du niveau de gravité de la pollution de l'air par la population est clairement analysée.

Le troisième apport de la thèse est que, du point de vue d'évaluation des coûts de morbidité liée à la pollution de l'air, l'étude vient de montrer que le coût privé mensuel de la maladie correspond à 4,33 % du coût social mensuel, comparativement au cas de Rozan (2000) qui a obtenu 50%.

La quatrième contribution de la présente thèse est que l'évaluation du coût de mortalité due à la pollution de l'air, s'est réalisée pour la première fois à Cotonou en tenant compte des probabilités de décès. Aussi, faut-il noter que cette thèse vient pour la toute première fois au Bénin évaluer la Valeur Statistique de la Vie (VSV) suite à une réduction de 5/1.000 de la probabilité de décès sur un horizon de 10 ans.

La présente étude présente quelques limites qui méritent d'être soulignées. D'abord, les évaluations faites n'ont pas pris en compte les enfants ; leur prise en compte étant très délicate surtout pour l'évaluation du coût privé. Ensuite, il a été tenu compte uniquement des maladies bénignes et non des maladies chroniques. De plus, l'étude n'a pas fait une agrégation des deux catégories de coûts sanitaires pour éviter les problèmes de double comptage conduisant à une surestimation. Enfin, cette étude n'a pas tranché le potentiel débat des causes des maladies évoquées qui pourraient être ailleurs autre que la PA, d'une part, et d'autre part le contrôle du biais du point de départ n'a pu être fait.

La recherche que nous avons menée révèle quelques problèmes qui amènent à ouvrir de nouvelles perspectives de recherche. Ainsi, quelques prolongements de la thèse se dégagent. D'abord, l'évaluation du coût privé est faite au sein des chefs de ménage ; elle peut être élargie aux adultes et enfants déclarés malades. Ensuite, le calcul du coût médico-social peut se faire par usage d'un autre questionnaire à l'endroit des médecins tout en appliquant la méthode Delphi. Ce questionnaire prendra en compte les ordonnances types relatives aux maladies, le nombre de jours d'hospitalisation etc. De plus, nous nous sommes intéressés aux maladies bénignes pour les évaluations de coûts; le même travail peut être fait en ciblant une maladie chronique telle que le cancer. Enfin, tous les aspects de notre questionnaire (par exemple les questions relatives à l'espérance de vie) dans le cadre de l'évaluation du coût de mortalité due à la pollution de l'air, ne sont pas traités dans la présente thèse. Un développement ultérieur permettra de mettre à profit les réponses non exploitées. De plus, des travaux portant sur l'Analyse Coût-Bénéfice (ACB) donneraient d'autres extensions.

Au total, les hypothèses formulées pour la conduite de cette recherche sont toutes validées. L'hypothèse H1 est validée. Précisément les professions : « profession libérale » et « conduite de taxi-moto » expliquent significativement le niveau de gravité de la pollution de l'air perçu par la population. Le revenu de l'individu explique significativement le CAP moyen qui représente le coût privé. L'hypothèse H2 selon laquelle le revenu de l'individu influence significativement le coût privé de morbidité, est validée. La VSV dépend du CAP concernant les risques de mortalité dans les études utilisant la révélation oui l'annonce des préférences et est influencée par la variation de la probabilité de décès. Alors, le coût de mortalité dans une situation de la PA est significativement impacté par la probabilité de décès. L'hypothèse H3 est également validée.

Aux termes de cette recherche, l'objectif général poursuivi est atteint. Ainsi, une évaluation effective des coûts sanitaires de la PA dans la ville de Cotonou, est faite. D'abord, la perception de la PA par la population est analysée. Ensuite, une estimation du coût privé de morbidité ainsi que celle du coût médico-social, sont faites. Enfin, l'impact de la probabilité de décès sur le coût de mortalité est appréhendé à travers la VSV.

En définitive, bien que quelques limites soient évoquées dans le travail, les démarches suivies dans les évaluations de coûts semblent gardées leur pertinence. Les résultats sont donc fiables pour servir

de base à des prises de décision publique, surtout dans le renforcement de la lutte contre la pollution de l'air, puis dans la mise en place d'un système d'assurance santé du fait de ladite pollution. Ainsi, certaines implications de politiques se dégagent ; il s'agit de :

- Doter l'Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE) des équipements de contrôle des concentrations de la PA afin de suivre les indicateurs de la PA ;
- Elaborer un réel système du principe pollueur-payeur en se basant sur le coût privé de morbidité ;
- Autoriser et encourager l'importation des masques anti-pollution ou masques respiratoires filtrants ;
- Développer le système de dotation de pots catalytiques sur les véhicules ;
- Renforcer les mécanismes de subvention dans le domaine sanitaire à partir des écotaxes qui pourraient être perçues.

## Références bibliographiques

- [1] **Abdelmalki, L. et P. Mundler (2010)**, *Economie de l'Environnement et du Développement Durable*, Ed. De Boeck Université, 219 p.
- [2] **Afsse (2004)**, Impact Sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ; Rapport 1; 90 p.
- [3] **Alberini, A., A. Hunt, and A. Markandya (2004)**, «Willingness to Pay to Reduce Mortality Risks: Evidence from a Three-Country Contingent Valuation Study », NOTA DILAVORO 111.2004. <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>, Consulté le 12 Décembre 2009.
- [4] **Alberini, A., M. Cropper, T-T. Fu, A. Krupnick, J-T. Liu, D. Shaw and W. Harrington (1997)**, "Valuing Health Effects of Air Pollution in Developing Countries: The Case of Taiwan", *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, 107-126.
- [5] **Amemiya, T. (1985)**, *Advanced Econometrics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [6] **Ami, D., et B. Desaignes (2003)**, « Valuing health risk: does context matter? », GREQAM, Document de Travail N° 03B07.
- [7] **Amoussouga Gero, F. (2001)**, *Foncier et Développement durable*, Rapport Ministère du Développement Rural, Cotonou.
- [8] **Ardilly, P. (1994)**, *Les techniques de sondages*, Editions Technip-Paris.
- [9] **Armantier, O., and N. Treich (2004)**, « Social Willingness to Pay, Mortality and Contingent Valuation », *Journal of Risk and Uncertainty*, vol 29 (1), 7-19.
- [10] **Arrow, K., R. Solow, E. Leamer, P. Portney, R. Radner and H. Scuman (1993)**, « Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation », Janvier.
- [11] **Arrow, K. (1969)**, « The Organization of Economic Activity: Issues Pertinent to the Choice of Market Versus non Market Allocation », in Congress of the United States, *The Analysis and Evaluation of Public Expenditures: The PPB System*, 47-64.
- [12] **Avocè Viagannou, F. (2002)**, *La régulation de la pollution d'origine motorcycle : Cas des taxis-moto « zémidjans » dans la ville de Cotonou*, Mémoire de DEA PTCl, Université Cocody-Abidjan.
- [13] **Banque Mondiale (2002)**, *Qualité de l'air dans la ville de Cotonou*, Etude sur le Développement du secteur privé et infrastructure, Septembre 2002, consulté le 17 Octobre 2009 sur [www.worldbank.org/afr/findings](http://www.worldbank.org/afr/findings).

- [14] **Banque Mondiale (2001)**, *Initiative sur la qualité de l'air dans les villes d'Afrique Sub-Saharienne*, Conférence Régionale sur l'Elimination du Plomb dans l'Essence en Afrique Sub-Saharienne, Dakar, Sénégal 26-27 Juin 2001.
- [15] **Barde, J.P. et S. Smith (1997)**, « Environnement : Les instruments économiques sont-ils efficaces ? » *Problèmes économiques*, n° 2.519, pp. 26-31
- [16] **Bator, F. (1958)**, « The anatomy of market failure », *Quarterly Journal of Economy*, 72, 351-79.
- [17] **Baumol, W.J. and W.E. Oates (1988)**, *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, 2è Ed, Cambridge.
- [18] **Baumol, W.J. and W.E. Oates (1975)**, *The Theory of Environmental Policy*, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J.
- [19] **Baumol, W.J. and W.E. Oates (1971)**, « The Use of Standards and Prices for the Protection of the Environment », *Swedish Journal of Economics*, 73, 42-54.
- [20] **Berger, M. C., G.C. Blomquist, D. Kenkek, and G.S. Tolley (1987)**, « Valuing Changes in Health Risks: a Comparison of Alternative Measures », *Southern Economic Journal*, 53, 967-984.
- [21] **Berta, N. (2008)**, « Le concept d'externalité, de l'économie externe à l'interaction directe : quelques problèmes de définition », Séminaire d'Economie Publique, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, Mars.
- [22] **Bialès C., M. Bialès, R. Leurion et J.-L. Rivaud (1999)**, *Dictionnaire d'économie et des faits économiques et sociaux contemporains*, Ed. Foucher, Paris, p. 258.
- [23] **Blomqvist, A. (2002)**, « Defining the Value of Statistical Life: A comment », *Journal of Health Economics*, 21, 169-175.
- [24] **Blomquist, G. (1979)**, « Value of Life Savings: Implication of Consumption Activity », *Journal of Political Economy*, 87, 540-558.
- [25] **Boldo, E., Medina S., Le Tertre A., Hurley F., Mücke H-G., Ballester F., Aguilera I., et Eilstein D. (2006)**, « Health impact assessment of long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> in 23 European cities », *European Journal of Epidemiology*, DOI 10.1007/s 10654-006-9014-0, Springer 2006.
- [26] **Bonnieux, F., P. Le Goffe et D. Vermersch (1995)**, « La méthode d'évaluation contingente : Application à la qualité des eaux littorales », *Economie et Prévision*, n°117-18, 1-2, pp.89-104.
- [27] **Bontems, P. et G. Rotillon (2007)**, *L'économie de l'environnement*, 3è Edition, Collection Repères, Ed. La Découverte, 119 p.
- [28] **Boutry, O. (2009)**, « La gestion des externalités sur le littoral Picto-Charentais : Une analyse néo-institutionnaliste », XLVI<sup>e</sup> Colloque ASRDLE, 6,7 et 8 Juillet-Clermont-Ferrand, France
- [29] **Bramhall, D.E. and E.S. Mills (1966)**, « A note on the asymmetry between Fees and Payments », *Water Resources Research*, 2, 615 – 616.
- [30] **Buchanan, J. M. and W. C. Stubblebine (1962)**, « Externality », *Economica*, vol. 29, 371-84.

- [31] **Cahuzac, E. et C. Bontemps (2008)**, *Stata pour la pratique : statistiques, graphiques et éléments de programmation*, StataCorp LP, College Station, Texas, 254 p.
- [32] **Cassadou, S., Declercq C., Eilstein D., Fabre P., Filleul L., Le Tertre A., Lefranc A., Medina S., Nunes C., Pascal L., Prouvost H. et Zeghnoun A. (2003)**, « Surveillance des effets de la pollution atmosphérique en milieu urbain sur la santé : le programme français PSAS-9 », *VertigO- La revue en sciences de l'environnement*, Vol 4, No 1, mai 2003.
- [33] **CGDD (2009)**, « La tarification, un instrument économique pour des transports durables », *La Revue du CGDD*, Novembre 2009, [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr), consulté le 21 Juin 2011.
- [34] **Chabossou, A. F. (2007)**, « Externalités de réseau en matière d'utilisation du téléphone », Doctoriales du GDR TIC & Société, 15-16 Janvier 2007.
- [35] **Chanel, O., et S. Luchini (2008)**, « Monetary Values for Air Pollution Risk of Death: A Contingent Valuation Survey », GREQAM, Document de Travail N°2008-05.
- [36] **Chanel, O., E. Faugère, G. Geniaux, R. Kast, S. Luchini et P. Scapecchi (2004)**, « Valorisation des effets de la pollution atmosphérique : Résultats d'une enquête contextuelle », *Revue Economique*, Vol.55, N°1, p. 65-92.
- [37] **Chanel, O., S. Masson, P. Scapecchi et J.-C. Vergnaud (2000)**, « Pollution et santé : Evaluation monétaire et effets de long terme », *Revue Région et Développement*, 12-2000.
- [38] **Charles, L., Emelianoff, C., Ghorra-Gobin, C., Roussel, I., Roussel, F.X., Scarwell, H. (2007)**. « Les multiples facettes des inégalités écologiques », Développement durable et territoire, Dossier 9 : inégalités écologiques, inégalités sociales, mis en ligne le 28 août 2007. URL:<http://developpementdurable.revues.org/document3892.html>, consulté le 04 Janvier 2010.
- [39] **Coase, R. H. (2005)**, *L'entreprise, le marché et le droit*, Editions d'Organisations.
- [40] **Coase, R. H. (1960)**, « The Problem of Social Cost », *Journal of Law and Economics*, 3, 1– 44.
- [41] **Cooper, B.S., and D. P. Rice (1976)**, «The Economic Cost of Illness Revisited», *Social Security Bulletin*, 39, 21-36.
- [42] **Corfee-Marlot, J. et T. Jones (1992)**, « Elaboration d'un régime fiscal réalisable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre : Introduction », in OCDE, Ed. Le changement climatique : concevoir un système pratique de taxe, Paris, pp 15 – 24.
- [43] **Cote-Colisson, N. et F., Legendre (1999)**, « Capital-Labor Substitution Heterogeneity with Endogenous Switching Regression », *Annales d'Economie et de Statistique*, N° 55-56.
- [44] **Cropper, M. L., Simon N. B., Alberini A. and Sharma P. K. (1997)**, «The Health Effects of Air Pollution in Delhi, India», Policy Research Working Paper 1860, The World Bank Development Research Group, December 1997.
- [45] **Cropper, M. L., and M. A. Freeman (1991)**, «Valuing environmental health effects», in *Measuring the Demand for Environmental Quality* (Braden J. B. and C. D. Kolstad, Eds), Elsevier, Amsterdam.



- [46] **Cropper, M. L. (1981)**, « Measuring the Benefits from Reduced Morbidity », *American Economic Review*, 71, 235-240.
- [47] **Currie, J., M. Neidell, and J. F. Schmieder (2009)**, “Air pollution and infant health: Lessons from New Jersey”, *Journal of Health Economics*, 28, 688-703.
- [48] **Dales, J.H. (1968)**, *Pollution, Property and Prices, An Essay in Policy Making and Economics*, University of Toronto Press, Toronto.
- [49] **Dardis, R (1980)**, “The value of Life : new Evidence from the Marketplace”, *American Economic Review*, 70, 1077-1082.
- [50] **Davis, R.K. (1963)**, *The Value of Outdoor Recreation: an Economic Study of the Maine Woods*, Unpublished Ph.D. dissertation, Harvard University, Cambridge, MA.
- [51] **Desaigues, B., A. Rabl, D. Ami, B. My Kene, S. Masson, M-A. Salomon et S. Santoni (2007)**, « Monetary Value of a Life Expectancy Gain due to Reduced Air Pollution: Lessons from a Contingent Valuation in France », *Revue d’Economie Politique*, Vol. 117(5), p. 675-698.
- [52] **Desaigues, B., et A. Rabl (1995)**, “Reference values for human life: an econometric analysis of a contingent valuation in France”. In Nathalie Schwab and Nils Soguel, editors (1995) *Contingent Valuation, Transport Safety and Value of Life*, Kluwer, Boston.
- [53] **Desaigues, B. et P. Point (1993)**, *Economie du Patrimoine Naturel : La valorisation des bénéfices de protection de l’environnement*, Ed. Economica, Paris.
- [54] **Erpurs (2003)**, « Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé », Observatoire Régional de Santé d’Ile-de-France (ORS), [www.ors-idf.org](http://www.ors-idf.org)
- [55] **Erpurs (1994)**, « Impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Ile-de-France ». Observatoire Régional de Santé d’Ile-de-France, 21-23 rue Miollis, F-75015 Paris.
- [56] **ExternE (1995)**, *ExternE: Externalities of Energy*. Vol.2: Methodology. ISBN 92-827-5211-9, Published by European Commission, Directorate-General XII, *Science Research and Development*. L-2920 Luxembourg.
- [57] **Fahet, G. (2003)**, *Evaluation de l’Impact Sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique urbaine dans l’agglomération d’Albi ; étude dans le cadre du contrat de plan Etat-Région ; 48 pages.*
- [58] **Faucheux, S. et J.-F. Noël (1995)**, *Economie des ressources naturelles et de l’environnement*, Ed. Armand Colin, Paris, p. 179-236.
- [59] **Fisher, A.C., L.G. Chestnut, and D.M. Violette (1989)**, « The value of reducing risks of death: a note on new evidence », *Journal of Policy Analysis and Management*, 8, 88-100.
- [60] **Fonta, M.W and H. E. Ichoku, (2005)**, “The Application of the Contingent Valuation Method in Community-led Financing Schemes: Evidence from Rural Cameroon”, *Journal of Developing Areas*, Vol. 39 (1), Fall 2005
- [61] **Fourn, L. et E. B. Fayomi (2006)**, « Pollution atmosphérique en milieu urbain à Cotonou et à Lokossa, Bénin », *Bull Soc Pathol Exot*, 99, 4, 264-268.

- [62] **Freeman, A. M. (1993)**, *The Measurement of Environmental and Resource Values*. Resources of the Future, Washington, DC.
- [63] **Freeman, A.M. (1985)**, « Methods for Assessing the Benefits of environmental Programs », in A.V. Kneese et J.L. Sweeney (eds), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol. 1, Amsterdam, Elsevier Science Publishers.
- [64] **Friedrich, R., A. Rabl et J.V. Spadaro (2001)**, *Quantification des coûts de la pollution atmosphérique : Le projet ExternE de la Communauté Européenne*, *Revue Pollution Atmosphérique*, 184 p. Paris. Dec. 2001.
- [65] **Fung, K.Y., D. Krewski, R. Burnett, and F. Dominici (2005a)**, «Testing the harvesting hypothesis by time domain regression analysis. I: Baseline analysis», *Journal of Toxicology and Environmental Health A*, 68:1137-1154.
- [66] **Fung, K.Y., D. Krewski, R. Burnett, T. Ramsey, and Y. Chen (2005b)**, «Testing the harvesting hypothesis by time domain regression analysis. II: Covariate effects», *Journal of Toxicology and Environmental Health A*, 68:1155-1165.
- [67] **Gailhard-Rocher, I., F. Lelièvre, A. Lefranc, A. Tallec, I. Roussel, C. Ménard et F. Beck (2008)**, « Perception de la pollution de l'air extérieur et ses effets sanitaires : disparités territoriales et disparités sociales », Congrès national des Observatoires régionaux de la santé-Les inégalités de santé Marseille, 16-17 octobre 2008.
- [68] **Gastineau, P., D. Manière et G. Rotillon (2007)**, « Une méta-analyse de l'évaluation économique des dommages sanitaires attribués à la pollution atmosphérique », *L'Actualité économique*, vol. 83, n°1, p. 5-36.
- [69] **Gauthy-Sinéchal, M. et M. Vandercammen (2010)**, *Etudes de marchés : Méthodes et outils*, 3è Edition, De Boeck, 462 p.
- [70] **Gbinlo, R. E. (1999)**, *Approche économique de la pollution atmosphérique par les taxis –moto dans la ville de Cotonou*, Mémoire de DEA PTCl, Université de Ouagadougou.
- [71] **Géniaux, G. (1999)**, *Evaluation et Régulation des Impacts Environnementaux*, Thèse pour un Doctorat nouveau régime en Sciences Economiques à l'Université de la Méditerranée, GREQAM, UMR CNRS 6579.
- [72] **Géniaux, G. et A. Rabl (1998)**, « Les méthodes de quantification économique des coûts sanitaires de la pollution atmosphérique : application à l'Île- de- France », IDEP p: 160-217.
- [73] **Gerking, S. and L.R. Stanley (1986)**, « An Economic Analysis of Air Pollution and Health: the case of St Louis », *Review of Economics and Statistics*, 68, 115-121.
- [74] **Gounongbé, F.C.A. (1999)**, *Pollution atmosphérique par les gaz d'échappement et état de santé des conducteurs de taxi-moto « zémidjan » de Cotonou (Bénin)*. Thèse en médecine, Bénin FSS.
- [75] **Grange, D., C. Sommen et S. Host (2012)**, *Les perceptions de la pollution de l'air intérieur en Île-de-France*, Etude réalisée à l'Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, Janvier 2012.
- [76] **Greene, W. (2005)**, *Econométrie*, Pearson Education France, Ed Française, 943 p.

- [77] **Gregory, K., Matthews, A., Newton, A. et A. Nind (1992)**, *Incidences potentielles d'une taxe sur le carbone et l'énergie au taux de 10 dollars le baril, frappant les émissions du dioxyde de carbone au Royaume Uni*, in OCDE, éd, *Le Changement Climatique : Concevoir un système pratique de taxe*, Paris, PP 67 – 82.
- [78] **Harrington, W. and P.R. Portney (1987)**, “Valuing the benefits of health and safety regulations”, *Journal of Urban Economics*, 22 (1), 101-112.
- [79] **Heckman, J. J. (1979)**, « Sample Selection Bias as a Specification Error », *Econometrica*, Vol 47, No 1, January.
- [80] **Hecq, W. (2001)**, « Relations entre la qualité de l'air et les émissions de véhicules: Impacts sur les coûts » dans Banque Mondiale (2001), *Initiative sur la qualité de l'air dans les villes d'Afrique sub-saharienne*, Dakar, Sénégal, ACTES
- [81] **Heller, W. P. et D. A. Starret (1976)**, *On the Nature of Externalities, in Theory and Measurement of Economic Externalities*, éd. Lin, SAY, Academic Press, NY, 9-21. (MSE DLINR)
- [82] **Hibiki, A., Ono, H. et T. Morita (1992)**, *Les taxes sur le carbone au Japon : analyse et méthode envisageable*, in OCDE, éd, *Le Changement Climatique : Concevoir un système pratique de taxe*, Paris, PP 83 – 99.
- [83] **Houéninvo, T. (2000)**, *L'utilisation des instruments économiques dans la lutte contre la pollution atmosphérique en milieu urbain au Bénin : Cas de la ville de Cotonou*, Document de travail N°003/2000 de la CAPE (Bénin).
- [84] **Houéssouvi, J.M.M. (2008)**, *Dépistage des affections naso-sinusiennes de la face par la radiographie chez les conducteurs de taxi-moto (zémidjan) à Cotonou*. Mémoire de fin de formation pour le DIT, EPAC/UAC.
- [85] **Hunt, A. (2011)**, “Policy Interventions to Address Health Impacts Associated with Air pollution, Unsafe Water Supply and Sanitation, and Hazardous Chemicals”, *OECD Environment Working Papers*, No.35, OECD Publishing.
- [86] **INSAE (2008)**, *Projections Départementales 2002-2030*, MPDEAP, Bénin.
- [87] **Ippolito, P.M. and R.A. Ippolito (1984)**, « Measuring the value of life saving from consumer reactions to new information », *Journal of Public Economics*, 25 53-81.
- [88] **Johannesson, M., and P.-O. Johansson (1997)**, « Quality of life and the WTP for an increased life expectancy at an advanced age », *Journal of Public Economics*, 65, 219-228.
- [89] **Johansson, P.-O. (2001)**, « Is there a meaningful definition of the value of a statistical life », *Journal of Health Economics*, 20, 131-138.
- [90] **Jöst, F. et M. Quaas (2009)**, « Environmental and population externalities », *Environment and Development Economics*, 15 :1-19.
- [91] **Jusot, J.F., A. Lefranc, S. Cassadou, M. D'Helf-Blanchard, D. Eilstein, B. Chardon, L. Filleul, L. Pascal, P. Fabre, C. Declercq, H. Prouvost, A. Le Tertre et S. Medina (2006)**, « Estimation de la mortalité attribuable aux particules (PM10) dans les 9 villes françaises participant au programme européen Apehis », *Santé Publique*, vol 18, n°1, pp. 71-84.

- [92] **Just, J. (2011)**, « Impact de la pollution sur l'asthme de la petite enfance », *Revue Française d'Allergologie*, vol. 51, 3, pp. 144-147.
- [93] **Kappos, A.D., P. Bruckmann, T. Eikmann, N. Englert, U. Heinrich, P. Höpfe, E. Koch, G.H.M. Krause, W.G. Kreyling, K. Rauchfuss, P. Rombout, V. Schulz-Klemp, W.R. Thiel and H.-E. Wichmann (2004)**, « Health effects of particles in ambient air », *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 207, 399-407.
- [94] **Kobou, G., H. Ngoa Tabi et S. Mougou (2009)**, « L'efficacité du financement des micro et petites entreprises dans la lutte contre la pauvreté au Cameroun », *11<sup>e</sup> Journées Scientifiques du Réseau Entrepreneuriat*, INRPME, Canada.
- [95] **Kouchadé, V. (2000)**, *Evaluation de l'exposition des conducteurs de taxi-moto de Cotonou au monoxyde de carbone (CO)*. Thèse médecine, Bénin FSS.
- [96] **Kousnetzoff, N. (2000)**, « De Kyoto à La Haye : le choix d'instruments économiques pour limiter les émissions de gaz à effet de serre », dans *Collections Repères, L'économie mondiale 2001*, Ed. La Découverte, Paris, p. 80-95.
- [97] **Krupnick, A., A. Alberini, M. Cropper, N. Simon, B. O'Brien, R. Ron Goeree and M. Heintzelman (2002)**, « Age, Health, and the Willingness to Pay for Mortality Risk Reductions: A Contingent Valuation Survey of Ontario Residents », *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 24 (2), 161-186.
- [98] **Krupnick, A.J. and P.R. Portney (1991)**, « Controlling Urban Air Pollution: a benefit-cost assessment », *Science*, 52, 522-527.
- [99] **Künzli, N., R. Kaiser, S. Medina et al (2000)**, « Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment », *Lancet*, 356:795-801.
- [100] **Lacombe, B. (1997)**, *Pratique du terrain: Méthodologie et technique d'enquête*, Lille, 1998, 850 p.
- [101] **Laffont, J.J. (1987)**, « Externalities », in *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, London and New York, Macmillan and Stockton, 263-65
- [102] **Laffont, J.J. (1977)**, *Effets externes et théorie économique*, Monographie du Séminaire d'économétrie, Editions du CNRS, Paris.
- [103] **Laid, Y., M. Atek, R. Oudjehane, L. Filleul, L. Baough, N. Zidouni, M. Boughedaoui, et J-F. Tessier (2006)**, « Impact sanitaire de la pollution de l'air par les PM10 dans une ville du Sud : le cas d'Alger », *Int. J. Tuberc Lung Dis*, 10 (12), 1406-1411.
- [104] **Landfeld, J.S. and E.P. Seskin (1982)**, « The Economic Value of Life: linking theory to practice », *American Journal of Public Health*, 72, 555-566. Environmental Outlook, Rapport RIVM, N°402101001.
- [105] **Lave, L.B. and E.P. Seskin (1977)**, *Air Pollution and Health*, RFF, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- [106] **Lecksell, I. and A. Rabl (2001)**, « Air Pollution and Mortality: Quantification and Valuation of Years of Life Lost », *Risk Analysis*, 21(5), 843-857.

- [107] **Lévêque, F. (2000)**, « La réglementation des externalités », Intervention à l'école thématique sur les règles publiques, Grenoble, IEPE.
- [108] **Lind, R.C. (1982)**, « Discounting for Time and Risk in Energy Policy », in R.C. Lind, K.J. Arrow (eds), *A primer on the Major Issues Relating to the Discount Rate for Evaluating National Energy Options*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- [109] **Liu, P. et B. Relly (2004)**, « Income transfers of Chinese rural migrants: Some Empirical evidence from Jinan », *Applied Economics*, 36, 1295-1313.
- [110] **Lollivier, S. (2001)**, « Endogénéité d'une variable explicative dichotomique dans le cadre d'un modèle probit bivarié : Une application au lien entre fécondité et activité féminine », *Annales d'Economie et de Statistique*, N°62, 251-269.
- [111] **Maddi, A., A. Guessoum, D. Berkani et O. Belkina (2005)**, « Etude de la méthode des moindres carrés étendus et application au signal de parole », 3rd International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT), March 27-31, TUNISIA.
- [112] **Maddison, D. (2005)**, « Air pollution and hospital admissions an ARMAX modelling approach », *Journal of Environmental Economics and Management*, 49, 116-131.
- [113] **Mäler, K.G. (1974)**, *Environmental Economics A Theoretical Inquiry*; Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- [114] **Marglin, S.A. (1963)**, « The Social Rate of Discount and the Optimal Rate of Investment », *Quarterly Journal of Economics*, vol.77.
- [115] **Marshall, A. (1920)**, *Principles of Economics*, 8th edition, Macmillan, London, 1964, <http://www.econlib.org/library/Marshall/marP5.html#n20>, consulté le 30 Décembre 2009.
- [116] **Martin, Y. (2000)**, « Lutte contre l'effet de serre : quels instruments ? Les pouvoirs publics en France », *Problèmes économiques*, n°2.662, pp.14-16.
- [117] **McFadden, D. and G. Leonard (1993)**, *Issues in the contingent valuation of environmental goods: Methodologies for data collection and analysis, vol. Contingent Valuation: A Critical Assessment*, p. 165-215, New York, North-Holland, Haussman.
- [118] **Meade, E.J. (1952)**, « External Economics and Diseconomies in a Competitive Situation », *Economic Journal*, vol 62, N°245, pp.54-67.
- [119] **Medina, S., A. Le Tertre et M. Saklad (2009)**, « The Apheis project: Air pollution and Health-A European Information System », *Air Qual Atmos Health*, DOI 10.1007/s11869-009-0050-2.
- [120] **Mitchell, R.C. and R.T. Carson (1989)**, *Using Surveys to Value Public Goods: the Contingent valuation Method*, Resources for the Future, Washington D.C.
- [121] **Mishan, E.J. (1971)**, « The Postwar Literature on Externalities », *Journal of Economic Literature*, 9, 1-28.
- [122] **Mishan E.J. (1969)**, « The Relationship between Joint Products, Collective Goods and External Effects », *Journal of Political Economy*, LXXVII, 329-48.

- [123] **Morris, J., and J. Hammitt (2001)**, «Using life expectancy to communicate benefits of health care programs in contingent valuation studies», *Medical Decision Making*, Nov-Dec. 2001, 468-478.
- [124] **MS (2010)**, *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [125] ----- (2009), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [126] ----- (2008), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [127] ----- (2007), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [128] ----- (2006), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [129] ----- (2005), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [130] ----- (2004), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [131] ----- (2003), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [132] ----- (2002), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [133] ----- (2001), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [134] ----- (2000), *Annuaire Statistique des données sanitaires et épidémiologiques*, Bénin
- [135] **Muller, N. Z., and R. Mendelsohn (2007)**, « Measuring the damages of air pollution in the United States », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol 54, 1-14.
- [136] **Nejjari, C., Filleul L., Laid Y., Atek M., El Meziane A., Tessier J.F. (2003)**, « Air Pollution: a new respiratory risk for cities in low-income countries », *Int. J. Tuberc. Lung. Dis* 7(3):223-231.
- [137] **Ngô, C. et A. Regent (2012)**, *Déchets, effluents et pollution : Impact sur l'environnement et la santé*, 3<sup>e</sup> Edition, Dunod, 216 p.
- [138] **N'Guessan, C.F.J. (2008)**, « Le consentement des ménages ruraux à payer une prime d'assurance maladie en Côte d'Ivoire », *Revue d'économie du développement*, 22, 101-124.
- [139] **Niang, A., A. Bonnichon, K. Ba-Fall, C. Dussart, P. Camara, F. Vaylet, P.S. Mbaye, P. L'Her, M. Sane et J. Margery (2007)**, « Le cancer bronchique au Sénégal », *Medecine Tropicale*, 67, 651-656
- [140] **OCDE (2007)**, « Evaluer les politiques environnementales », Synthèses de Mars 2007, disponible au : [www.oecd.org/publications/syntheses](http://www.oecd.org/publications/syntheses), 8 p. Consulté le 23 Décembre 2009.
- [141] **OCDE (1992)**, *Le changement climatique : Concevoir un système pratique de taxe*, OCDE, Paris.
- [142] **OMS (2005)**, «La pollution de l'air à l'intérieur des habitations et la santé», Aide-mémoire N°292, Juin 2005.
- [143] **Orléan, A. (1994)**, *L'économie des conventions*, PUF, Paris.

- [144] **Ozer, P. (2005)**, “Estimation de la pollution particulaire naturelle de l’air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale”, *Environnement, Risques & Santé*, Volume 4, Numéro 1, 43-9.
- [145] **Papandreou, A. (1994)**, *Externality and Institutions*, New-York, Oxford University Press.
- [146] **Pascal, L. (2009)**, « Effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité », *Revue française d’Allergologie*, vol. 49, 6, pp. 466-476.
- [147] **Phelps, C., (1995)**, *Les fondements de l’économie de la santé*, Nouveaux Horizons.
- [148] **Pigou, A.C. (1920)**, *Economics of Welfare*, 4th edition, Macmillan, London, 1932, <http://www.econlib.org/library/NPDBooks/Pigou/pgEW.html>, consultation du 20 Novembre 2009.
- [149] **Pokou, K., M. J-B. Kamuanga et A.G.M. N’Gbo (2010)**, « Farmers’ willingness to contribute to tsetse and trypanosomosis control in West Africa: the case of northern Côte d’Ivoire », *Biotchnol. Agron. Soc. Environ*, 14(3), 441-450
- [150] **Pope, C.A., M.J. Thun, M.M. Namboodri, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.E. Speizer, and C.W. Heath (1995)**, « Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults ». *Amer. J. of Resp. Critical Care Med.* vol.151, 669-674.
- [151] **Puddu M., Bayingana K. et Tafforeau J. (2003)**, *L’asthme et la pollution de l’air: Etat des connaissances et données disponibles pour le développement d’une politique de santé en Belgique*, Rapport N°2003-012 de l’Institut Scientifique de la Santé Publique, Service d’épidémiologie, Bruxelles (Belgique), 179 p.
- [152] **Rabl, A. (2005)**, « Air Pollution Mortality: Harvesting and Loss of Life Expectancy », *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 68:1175-1180.
- [153] **Rabl, A. (1999)**, « Les bénéfices monétaires d’une amélioration de la qualité de l’air en Ile-de-France », *Pollution Atmosphérique*, Janvier-Mars, p.83-94.
- [154] **Raffin, N. (2009)**, « Santé, qualité environnementale et développement économique », *Revue économique*, vol.60, N°3, p.831-842.
- [155] **Roy, A. (2006)**, « Les inégalités environnementales » dans : *L’environnement en France*, Edition 2006, Institut français de l’environnement, p.419-430.
- [156] **Rozan, A. (2000)**, « Bénéfices de santé liés à la qualité de l’environnement : Peut-on négliger les coûts privés ? », *Revue Economique*, 51, 595-608.
- [157] **Sartori, A.E., (2003)**, “An Estimator for some Binary-Outcome selection Models without Exclusion Restrictions”, *Political Analysis* 11: 111-138.
- [158] **Satoguina, H. et A. Alinsato (2010)**, *Transport urbain moto au Bénin: analyse et politique*, Rapport, CAE, Cotonou.
- [159] **Scitovsky, T. (1954)**, « Two concepts of externalities economies », *Journal of Public Economics*, 62, 143-51.
- [160] **Scott Long, J. et J. Freese (2006)**, *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata*, Second Edition, Stata Press, 527 p.

- [161] **Shawna, R. et S. Shawna (2010)**, *ICPSR Categorical Data Analysis: Lab Guide for Stata*, 84 p.
- [162] **Sidgwick, H. (1887)**, *Principles of Political Economy*, MacMillan
- [163] **Soglo, Y. Y. (2006)**, *Les bénéfices de l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable pour les ménages : L'exemple de la ville de Parakou (Bénin)*, Thèse de doctorat es Sciences Economiques, Université de Ouagadougou.
- [164] **Sommer, H., N. Künzli, R. Seethaler et al (2000)**, « Economic evaluation of health impacts due to road traffic-related air pollution » Expert Workshop on Assessing the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies, 27–29 March 2000, Washington, D.C.
- [165] **Tarik Benkaci, A. et N. Dechemi (2004)**, « Modélisation pluie-débit journalière par des modèles conceptuels et « boîte noire » ; test d'un modèle neuroflou », *Journal des Sciences Hydrologiques*, 49 (5), p. 919-930.
- [166] **Tattersfield, A E. (1996)**, « Air Pollution: brown skies research », *Thorax*, 51, 13-22.
- [167] **Thiombiano, T. (2004)**, *Economie de l'environnement et des ressources naturelles*, Ed. L'Harmattan, Paris, 347 p.
- [168] **Treich, N. (2010)**, « The value of statistical life under ambiguity aversion », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol 59, 15-26.
- [169] **Treich, N. (2005)**, « L'Analyse Coût-Bénéfice de la Prévention des risques », disponible sur <http://www.toulouse.inra.fr/lerna/treich/indextreichd.htm>, consulté le 17 Novembre 2011.
- [170] **Turvey, R. (1964)**, « Optimisation and Suboptimisation in Fishery Regulation », *American Economics Review* 54, 64 – 76.
- [171] **Turvey, R. (1963)**, « On Divergencies between Social Cost and Private Cost », *Economica*, 30, 309-313.
- [172] **Varian, H. R. (2000)**, *Introduction à la microéconomie*, 4è Ed. De Boeck Université, Paris, p. 619-639.
- [173] **Viner, J. (1931)**, « Cost Curves and Supply Curves » *Zeitschrift für National Okonomie* 3, 23-46, repris dans *Reading in Price Theory*, American Economic Association, Homewood, Irwin, vol. VI, (1952).
- [174] **Viscusi, W.K., and T. Gayer (2005)**, « Quantifying and Valuing Environmental Health Risks », in *Handbook of Environmental Economics*, Volume 2, Edited by K.-G. Mäler, Elsevier B.V.
- [175] **Viscusi, W.K., J. Hakes and A. Carlin (1997)**, « Measures of Mortality Risks », *Journal of Risk and Uncertainty*, vol.14 (3), 213-233.
- [176] **Viscusi, W.K. (1992)**, *Fatal tradeoffs. Public and private responsibilities for risk*. Oxford University Press, New York.
- [177] **Voltaire, L., A. Nassiri, D. Bailly et J. Boncoeur (2010)**, « Une analyse empirique de l'effet des véhicules de paiement sur les consentements à payer des touristes pour de nouvelles réserves naturelles », 4èmes Journées de Recherches en Sciences Sociales INRA-SFER-CIRAD, 9 et 10 décembre 2010.



- [178] **WHO (2000)**, *Guidelines for Air Quality*, World Health Organization (<http://www.who.int/peh/>), consulté le 17 Novembre 2010.
- [179] **Wiener, J. (1992)**, *L'approche globale, les redevances sur les émissions de gaz à effet de serre et les échanges non officiels de droits d'émission*, in OCDE, Ed, *Le changement climatique : concevoir un système pratique de taxe*, Paris, PP 177-190.
- [180] **Wooldridge J.M. (2002)**, *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 741 p.
- [181] **Yin, Y. et Lawphongpanich (2006)**, « Internalizing emission externality on road networks », *Transportation Research Part D* 11, 292–301.

## Annexes

Annexe 1 : Statistiques sur les taxi-motos et les chefs de ménage à Cotonou

Annexe 2 : Questionnaire et supports d'administration

Annexe 3 : Chefs de ménage par arrondissement et estimation du modèle Logit Multinomiale suivie des tests

Annexe 4 : Description des variables socioéconomiques et sanitaires

Annexe 5 : Estimation du modèle de CAP et tests

Annexe 6 : Description des variables relatives à la mortalité et estimation du modèle de CAP correspondant

Annexe 7 : Description des variables de coûts de traitement et calcul du Coût Médico- Social (CMS)

Annexe 8 : Des simulations

**Annexe 1 : Statistiques sur les taxi-motos et les chefs de ménage à Cotonou****1.1-a/ Tableau 2.2 : Emissions des gaz à effet de serre, dues aux transports dans la ville de Cotonou en 1996<sup>32</sup>.**

Paramètres	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	COVNM	COV	CO	CO <sub>2</sub>	Pb	Total
Motos	1133	28	2158	-	221495	316043	1306531	612	1848000
Voitures	11440	25	302	-	23426	255482	1352253	5716	1648644
Camions	610	7	2	-	179	669	121177	-	122644
Avions	6,62	-	0,050	0,41	-	2,7	1622,3	-	1632,08
Navires	218,81	0,25	0,650	15,88	-	69	10333,3	-	10637,89
Total	13408,42	60,25	2462,7	16,29	245100	572265,7	2791916,6	6328	3631557,97

Source : MEHU (2000)

**1.1-b/ Evolution du nombre de taxi-motos inscrits dans la ville de Cotonou**

Années	Effectifs
1992	3842
1993	15107
1994	2830
1995	3578
1996	4918
1997	5671
1998	5716
1999	6206
2000	13143
2001	9573
2002	7295
2003	7331
2004	7259
2005	6431
2006	7712
2007	9027
2008	10276
2009	15415
2010	ND
<b>TOTAL</b>	<b>148.625</b>

Source : DSEF/Mairie de Cotonou, 2010

**1.2 Répartition par sexe des chefs de ménage à Cotonou en 2010**

	HOMMES	FEMMES	TOTAL
CHEFS DE MENAGE	315829	112982	428811

<sup>32</sup> Les données sont en tonnes

NON CHEFS	110391	323243	433634
TOTAL	426220	436225	862445

*Source : Réalisé à partir des données de «INSAE/EDS, 2006 et des Projections Départementales 2002-2030/INSAE, 2008»*

## Annexe 2 : Questionnaire et supports d'administration

### 2.1 Questionnaire d'enquête à l'endroit de la population

#### QUESTIONNAIRE INDIVIDUEL

Numéro du questionnaire : / \_\_ / \_\_ / \_\_ /

Code de l'enquêteur : / \_\_ / \_\_ / \_\_ / \_\_ /

Date de l'enquête : / \_\_ / \_\_ / / \_\_ / \_\_ / / \_\_ / \_\_ /

Heure début : .....

Arrondissement : .....

Zone de dénombrement : .....

Bonjour, Madame, Monsieur

Nous faisons partie d'une équipe de chercheurs du Centre d'Etudes, de Formation et de Recherches en Développement (CEFRED), de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC).

Nous réalisons une étude relative à la santé humaine du fait de la pollution de l'air. Nous sollicitons votre concours pour sa réalisation. Vous pourrez répondre aux questions que nous vous poserons comme vous le voulez tout en prenant votre temps.

Vos réponses sont anonymes et les informations que vous nous donnez resteront confidentielles.

I. CARACTERISTIQUES DU REpondANT			
N° d'ordre	QUESTIONS	CATEGORIES	CODES
Q1	<b>Cocher le sexe du répondant</b>	1-Masculin 0-Féminin	/ __ /
Q2	Habitez-vous dans la ville de Cotonou ? Si OUI, Passer à Q3 <b>Si NON, STOP interview (expliquer)</b>	1-OUI 0-NON	/ __ /
Q3	Depuis combien de temps résidez-vous dans la ville de Cotonou? (précisez).....ans	1-Un an et plus 0-Moins d'un an	/ __ /
Q4	Votre ménage est composé de combien de personnes y compris vous-même ?	.....Enfants .....Adultes	

Q5	Quel est votre âge ? (précisez).....ans	1-[15,20] 2-]20,25] 3-]25,30] 4-]30,35] 5-]35,40] 6-]40,45] 7-]45,50] 8-]50,55] 9-]55,60] 10-]60,65] 11-]65,70] 12-]70, +∞[	/___/
Q6	Quelle est votre situation socio-professionnelle ? (précisez) .....	1-Elève ou Etudiant 2-Zémidjan man 3-Fonctionnaire d'Etat 4-Fonctionnaire Privé 5-Profession libérale 6-Retraité 7-Chômeur	/___/
Q7	Quel est votre niveau d'études ?	1-Primaire 2-Secondaire 3-Supérieur 4-Aucun	/___/
Q8	Combien d'années d'études avez-vous fait ?	.....ans	
Q9	Quelle est votre situation matrimoniale ?	1-Célibataire 2-Marié (e) 3-Divorcé (e) 4-Veuf (ve)	/___/
<b>II. POLLUTION ATMOSPHERIQUE</b>			
<b>II.1 EFFETS MORBIDES</b>			
Q10	Avez-vous souffert de l'une des maladies ci-après au cours des deux derniers mois ? ( <i>Voir tableau et citer</i> )		
Q11	Pendant combien de temps en moyenne avez-vous souffert de la maladie ? ( <i>Voir tableau et inscrire</i> )		
Q12	Quelle est la maladie qui vous a plus gêné ? ( <i>Voir tableau et cocher</i> )		

Les maladies	Q10 : Maladies contractées au cours des 2 derniers mois	Q11 : Durée de la maladie (jours)	Q12 : Maladie la plus gênante
1-Toux			
2-Maux de tête			
3-Irritation des yeux			
4-Ecoulement de nez			
5-Maux de gorge			
6-Douleurs respiratoires			
7-Fièvre			
8-Bronchite			
9-Crise cardiaque			
10-Asthme			
Autre (précisez) 1			
Autre (précisez) 2			
Autre (précisez) 3			
Autre (précisez) 4			
Autre (précisez) 5			
Autre (précisez) 6			

Q13	Pour la maladie la plus gênante dont vous avez souffert, avez-vous rendu visite à un médecin ? <b>Si OUI, Passer au Q14</b> <b>Si NON, Passer au Q15</b>	1-OUI  0-NON	/ __ /
Q14	Avez-vous reçu une ordonnance médicale? <b>Passer à Q16 quelque soit la réponse</b>	1-OUI 0-NON	/ __ /
Q15	Pourquoi n'avez-vous pas rendu visite à un médecin ? <b>Passer à Q16 quelque soit la réponse</b>	1-J'ai fait de l'automédication 2-Je n'ai pas d'argent 3-La maladie n'est pas aussi grave 4-J'ai pris de la tisane 5-Ce n'est pas nécessaire 6-Autres.....	/ __ / / __ / / __ / / __ / / __ /
Q16	Combien environ vous a coûté le traitement global de cette maladie gênante?	.....FCFA	
Q17	Pendant votre maladie, avez-vous été empêché de mener votre activité quotidienne ? <b>Si OUI, pendant combien de jours ?.....</b>	1-OUI 0-NON	/ __ /



Q24	A votre avis, qu'elles sont les sources de la pollution de l'air à Cotonou ?	1-Motos 2-Voitures 3-Camions 4-Avions 5-Usines 6-Navires 7-Fosses septiques 8-Ordures ménagères Autres..... .....	/___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/
Q25	Circulez-vous ces derniers temps entre Godomey et IITA ou Calavi? <b>Si OUI</b> , comment percevez-vous la pollution de l'air ?).....	1-OUI 0-NON	/___/
<b>II.3 CONSENTEMENT A PAYER</b>			
<p>Tout le monde a droit de respirer de l'air pur. Or il a été démontré qu'il y a une relation entre la pollution de l'air et l'occurrence des maladies énumérées telles que : la toux, les maux de tête, les maladies respiratoires, les maladies cardiaques, les maux d'yeux, l'asthme etc. Le risque de revivre ces maladies peut être réduit grâce à un vaste programme de lutte contre la dégradation de la qualité de l'air. Ceci permettra d'améliorer et de préserver la santé de la population.</p>			
Q26	<p>Nous vous proposons deux cas :</p> <p>Cas 1 : La qualité de l'air à Cotonou se dégrade. Dans ce cas votre état de santé se dégrade à cause des maladies liées à la pollution de l'air, puis vous êtes sans réaction en ne supportant aucun coût financier ; mais la qualité de l'air ne s'améliore pas.</p> <p>Cas 2 : Vous acceptez de contribuer au financement d'un programme d'amélioration de la qualité de l'air. Ici vous supportez un coût financier mais l'occurrence de certaines maladies va s'atténuer et votre état de santé va s'améliorer également.</p> <p>Lequel des deux cas préférez vous ?</p>	1-Cas 1 2-Cas 2	/___/



Q27	<p><b>Si choix = Cas 1</b>, quelles sont les raisons de votre choix ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>Passer à Q28</b></p> <p><b>Si choix = Cas 2</b>,</p> <p>Nous vous présentons le scénario suivant :</p> <p>Une bonne partie des maladies dont vous avez souffert est due à la pollution de l'air. Si la pollution était réduite de moitié, sur un horizon de 5 ans, les risques de souffrir des maux directement liés à la pollution seront réduits de moitié également.</p> <p>Serez-vous prêt à payer au moins par mois durant les 5 ans que durera le projet (<b>montrer la carte de paiement</b>): 500F, 1.000F, 1.500F, 2.000F, 2.500F, 3.000F, 3.500F, 4.000F, 4.500F, 5.000F, 5.500F, 6.000F ?</p> <p><b>Passer à Q28</b></p>	<p>1-500F</p> <p>2-1.000FCFA</p> <p>3-1.500FCFA</p> <p>4-2.000FCFA</p> <p>5-2.500FCFA</p> <p>6-3.000FCFA</p> <p>7-3.500FCFA</p> <p>8-4.000FCFA</p> <p>9-4.500FCFA</p> <p>10-5.000FCFA</p> <p>11-5.500FCFA</p> <p>12-6.000FCFA</p>	/ __ /
Q28	Quel montant maximal êtes-vous prêt à payer par mois pour le projet ?	.....FCFA	
Q29	<p>Pensez-vous que la gestion d'un tel programme de lutte contre la pollution de l'air à Cotonou serait confiée à la mairie de Cotonou, au gouvernement ou à une structure autonome constituée ?</p> <p>Quelles sont les raisons de votre choix ?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>1-Mairie de Cotonou</p> <p>2-Gouvernement</p> <p>3-Structure autonome</p> <p>4-Mairie + Gouvernement</p> <p>5-Mairie + Structure autonome</p> <p>6-Gouvernement + Structure autonome</p>	/ __ /
Q30	Par quel moyen de paiement souhaiteriez-vous donner votre participation ?	<p>1-sur la facture d'eau</p> <p>2-sur la facture d'électricité</p> <p>3-sur les patentes de voiture ou moto.</p> <p>4-De façon directe</p> <p>5-Autre (précisez) ....</p> <p>.....</p>	/ __ /
<b>III . AUTRES CARACTERISTIQUES</b>			
Q31	Avec quel moyen vous vous déplacez habituellement dans la ville de Cotonou ?	<p>1-Taxi-moto</p> <p>2-Moto personnelle</p> <p>3-Voiture personnelle</p> <p>4-Voiture taxi</p> <p>5-Autres (précisez)</p> <p>.....</p>	<p>/ __ /</p> <p>/ __ /</p> <p>/ __ /</p> <p>/ __ /</p>

Q32	Êtes-vous fumeur de cigarette ?	1-OUI 0-NON	/__/
Q33	Quelles sources d'énergie sont utilisées chez vous pour la cuisine ?	1-Bois de chauffe 2-Gaz 3-Charbon de bois 4-Pétrole 5-Tourteaux de bois	/__/ /__/ /__/ /__/
Q34	Votre revenu mensuel se situe entre :	1-Moins de 30.000FCFA 2-30.001FCFA – 40.000FCFA 3-40.001FCFA – 50.000FCFA 4-50.001FCFA – 60.000FCFA 5-60.001FCFA – 70.000FCFA 6-70.001FCFA – 80.000FCFA 7-80.001FCFA – 90.000FCFA 8-90.001FCFA – 10.000Fca 9-Plus de 100.000FCFA	/__/
Q35	Avez-vous au sein de votre ménage d'autres personnes ayant des activités génératrices de revenu ? <b>Si OUI</b> , Combien ?..... <b>Si NON</b> , Passer au <b>Q37</b>	1-OUI 0-NON	/__/

Q36	En considérant votre revenu et ceux des autres personnes du ménage qui ont un revenu, le revenu global moyen de votre ménage se situe à peu près entre :	1-Moins de 30.000FCFA  2-30.001FCFA – 50.000FCFA  3-50.0001FCFA – 70.000FCFA  4-70.001FCFA – 90.000FCFA  5-90.001FCFA – 110.000FCFA  6-110.001FCFA- 130.000FCFA  7-130.001FCFA – 150.000FCFA  8-Plus de 150.000 FCFA	/ __/
Q37	Combien dépensez-vous par mois dans votre foyer pour les besoins suivants par rapport au revenu global moyen du ménage?	Santé : ... ..FCFA Logement : ... FCFA Nourriture : ... FCFA Electricité : ... FCFA	
Q38	Avez-vous en projet de déménager totalement de la ville de Cotonou dans les deux années à venir pour raison de la pollution de l'air ?	1-OUI 0-NON	/ __/
Q39	Avez-vous au moins 40 ans ?	1-OUI 0-NON	/ __/

**ATTENTION****SI AGE INFÉRIEUR A 40 ANS PASSER AU POINT V****SI AGE EST AU MOINS ÉGAL A 40 ANS ALLER AU POINT IV**

## IV- EVALUATION DE LA MORTALITE

N° d'ordre	QUESTIONS	CATEGORIES	CODES
Q40	Souffrez-vous actuellement de l'un des maux suivants ?	1-Asthme 2-Mal de gorge 3-Mal respiratoire 4-Mal cardiaque 5-Mal d'yeux 6-Rhume 7-Toux 8-Autres..... ..... ..... 9- Aucun mal	/___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/ /___/
Q41a	Le taux de mortalité actuel en milieu urbain au Bénin est d'environ 10/1000 (1/100). Compte tenu de la situation de la pollution de l'air dans la ville de Cotonou, dans les dix prochaines années le taux de mortalité passera selon vous à : ( <i>montrer les grilles et expliquer</i> )	1-5/1000 2-10/1000 3-15/1000 (1,5/100) 4-20/1000 (2/100)	/___/
Q41b	On suppose deux individus A et B dont les probabilités de décès les dix prochaines années sont respectivement 15/1000 et 20/1000.  Lequel des individus fait face au risque de décès le plus élevé? ( <i>montrer les grilles et expliquer</i> )	1-Individu A 2-Individu B	/___/
Q42	Lequel des deux individus souhaiteriez-vous être ?  Pourquoi ?..... ..... ..... .....	1-Individu A 2-Individu B	/___/
	Il a été démontré qu'il y a une relation entre la pollution de l'air, l'âge et le niveau de mortalité.		

Q43	<p>Donc dans une situation de pollution de l'air continue, le risque de décès est important.</p> <p>Seriez-vous prêt à payer pour un traitement médical contre la pollution de l'air pendant les 10 prochaines années, ce qui réduirait votre risque de décès jusqu'au niveau actuel de 10/1000 sur la période de 10 ans?</p>	<p>1-OUI</p> <p>2-NON</p> <p>3-Ne Sait pas</p>	/ /
Q44a	<p><b>Si Réponse Q43 = NON ou Ne sait pas</b></p> <p>quelles sont vos raisons ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>Si Réponse Q43 = OUI</b></p> <p>Comme votre revenu mensuel se situe entre (voir et rappeler sa réponse ci-haut) ;</p> <p>Seriez-vous prêt à payer les 1/30 de votre revenu mensuel par mois pour le traitement ?</p> <p>(voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre aux tranches de revenu du chef de ménage)</p>	<p>a-850FCFA</p> <p>b-1.200FCFA</p> <p>c-1.500FCFA</p> <p>d-1.850FCFA</p> <p>e-2.200FCFA</p> <p>f-2.500FCFA</p> <p>g-2.850FCFA</p> <p>h-3200FCFA</p> <p>i-3.500FCFA</p> <p>1-OUI</p> <p>2-NON</p> <p>3-Ne Sait pas</p>	/ /
	<p><b>Si Réponse Q44a = NON ou Ne sait pas</b></p> <p><b>PASSER A Q45</b></p> <p><b>Si Réponse Q44a = OUI</b></p> <p>Seriez-vous prêt à payer en moyenne les 2/30 de votre revenu mensuel par mois pour le traitement médical? (voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre des tranches de revenu</p>	<p>a-1.700FCFA</p> <p>b-2.350FCFA</p> <p>c-3.000FCFA</p>	

Q44b	<p><i>du chef de ménage)</i></p> <p>Si Réponse Q44b = NON ou Ne sait pas</p> <p><b>PASSER A Q45</b></p> <p>Si Réponse Q44b = OUI</p> <p>Serez-vous prêt à payer les 3/30(1/10) de votre revenu mensuel par mois pour le traitement ?</p> <p><i>(voir ci-joint les montants correspondants dans l'ordre des tranches de revenu du chef de ménage)</i></p>	<p>d-3.700FCFA</p> <p>e-4.350FCFA</p> <p>f-5.000FCFA</p> <p>g-5.700FCFA</p> <p>h-6350FCFA</p> <p>i-7.000FCFA</p> <p>1-OUI</p> <p>2-NON</p> <p>3-<del>Ne Sait pas</del></p>	<p>___/</p>
Q44c	<p><b>PASSER A Q45</b></p>	<p>a-2.500FCFA</p> <p>b-3.500FCFA</p> <p>c-4.500FCFA</p> <p>d-5.500FCFA</p> <p>e-6.500FCFA</p> <p>f-7.500FCFA</p> <p>g-8.500FCFA</p> <p>h-9.500FCFA</p> <p>i-10.500FCFA</p> <p>1-OUI</p> <p>2-NON</p> <p>3-<del>Ne Sait pas</del></p>	<p>___/</p>
Q45	<p>Quel montant maximal seriez-vous prêt à payer par mois pour un tel traitement?</p> <p>.....FCFA</p>		
	<p>Serez-vous prêt à payer pour un traitement médical contre la pollution de l'air dans l'optique de vivre un</p>	<p>1-OUI</p>	

Q46	peu plus longtemps ?	2-NON 3-Ne Sait pas	/ /
Q47	<p align="center"><b>Si Réponse Q46 = NON ou Ne sait pas</b></p> <p align="center">quelles sont vos raisons ?</p> <p align="center">.....</p> <p align="center">.....</p> <p align="center">.....</p>		
Q48a	<p align="center"><b>Si Réponse Q46= OUI</b></p> <p align="center">Combien êtes-vous prêt à payer au maximum par mois pour une augmentation de votre durée de vie de 5 ans à partir de 70 ans?</p>	<p align="center">.....FCF</p> <p align="center">A</p>	
Q48b	<p align="center">Avec une augmentation de la durée de vie de 10 ans à partir de 60 ans, combien serez-vous prêt à payer au maximum par mois ?</p>	<p align="center">.....FCF</p> <p align="center">A</p>	

## V-RAPPORT DE FIN D'INTERVIEW

### V.1-Pour le répondant :

Quelles sont vos impressions à l'issue de notre entretien sur la pollution de l'air et la santé de l'homme ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

MERCI POUR VOTRE COLLABORATION

### V.2-L'enquêteur

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Nom et Prénoms des enquêteurs    Signature du chef d'équipe    Heure de fin d'interview

.....

..... / \_\_\_\_\_ /

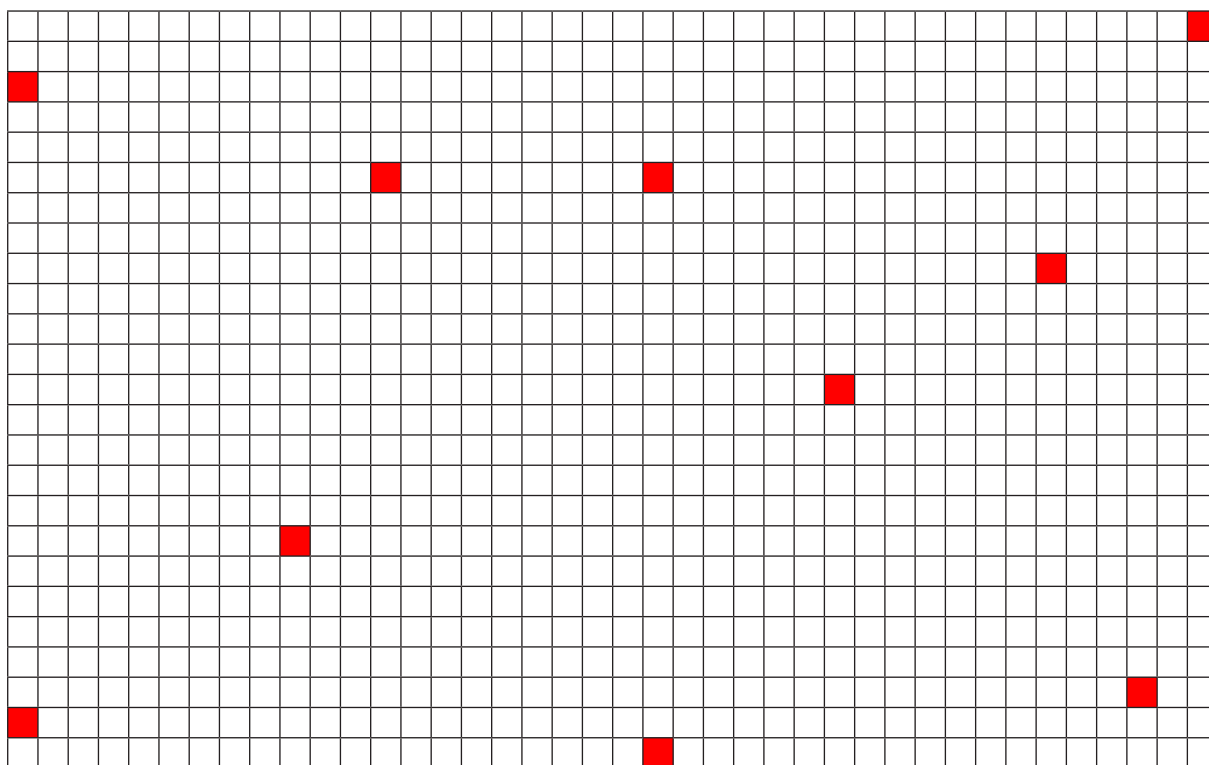
.....

### 2.2-CARTE DE PAIEMENT

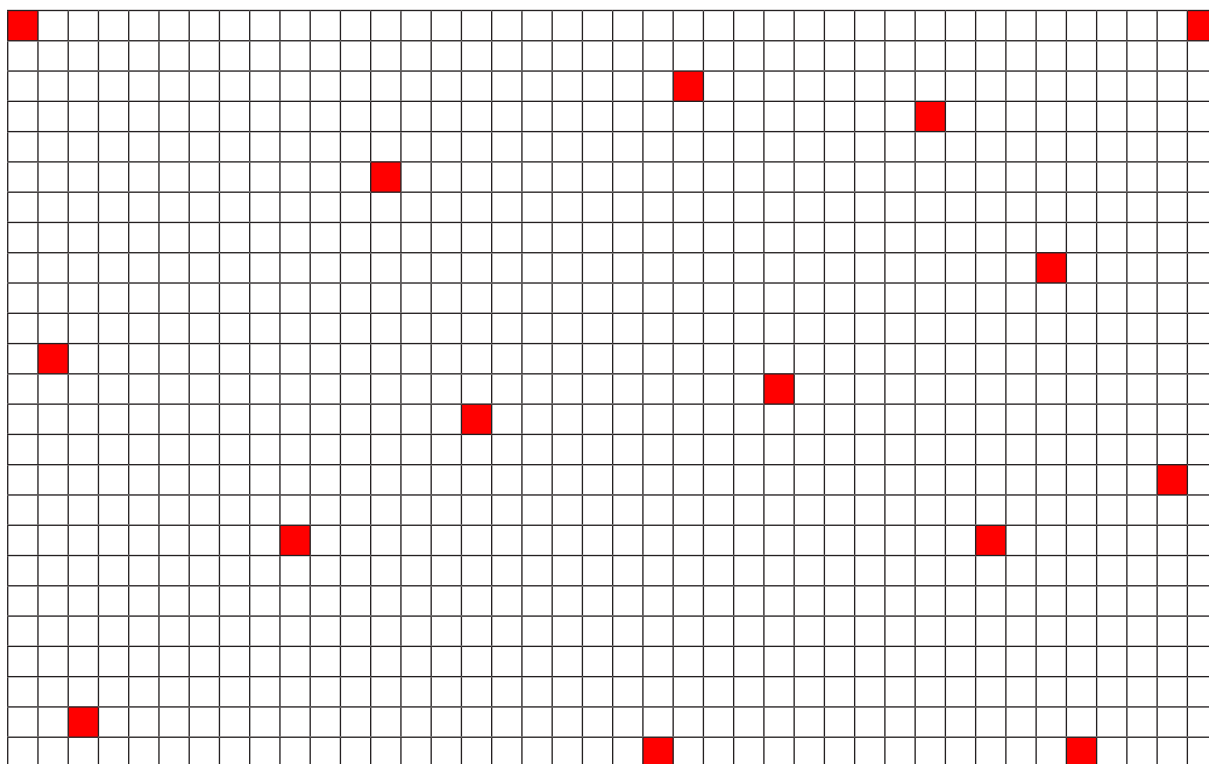
500F	1.000F	1.500F	2.000F	2.500F	3.000F
3.500F	4.000F	4.500F	5.000F	5.500F	6.000F



2.3-LES GRILLES DE PROBABILITE

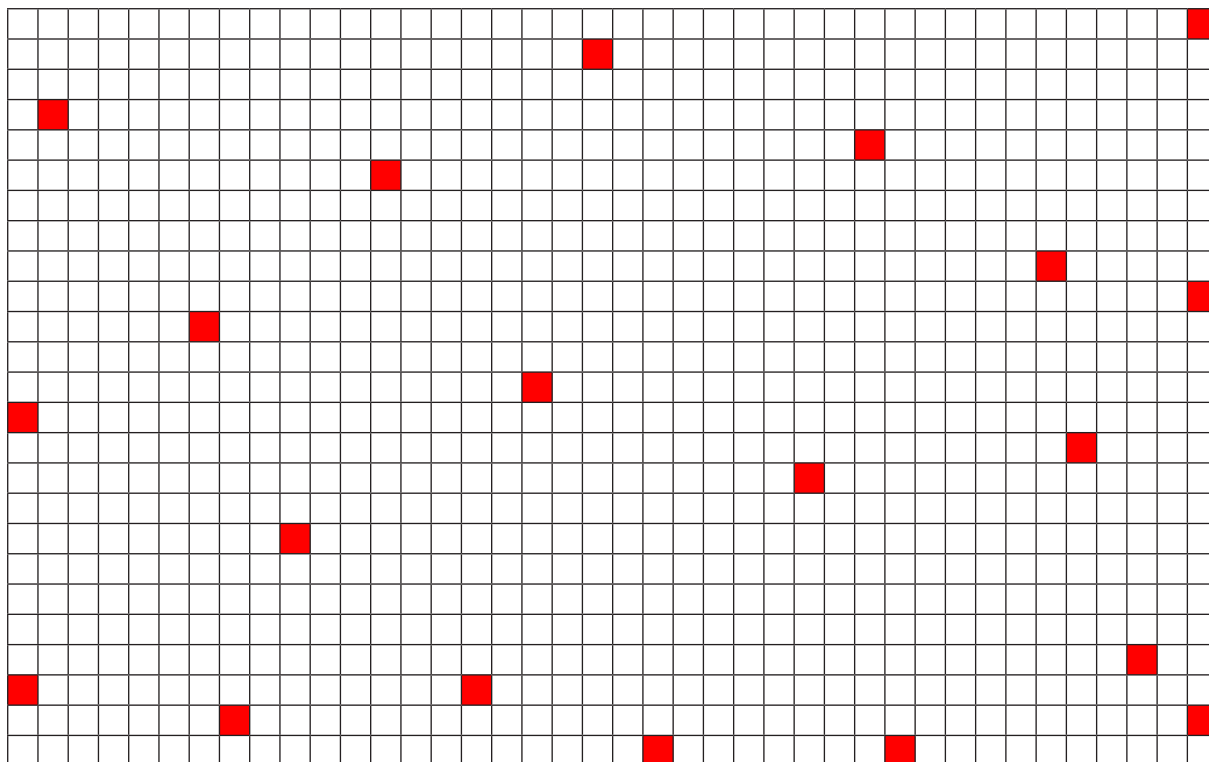


Situation actuelle de la mortalité (Taux : 10/1000)



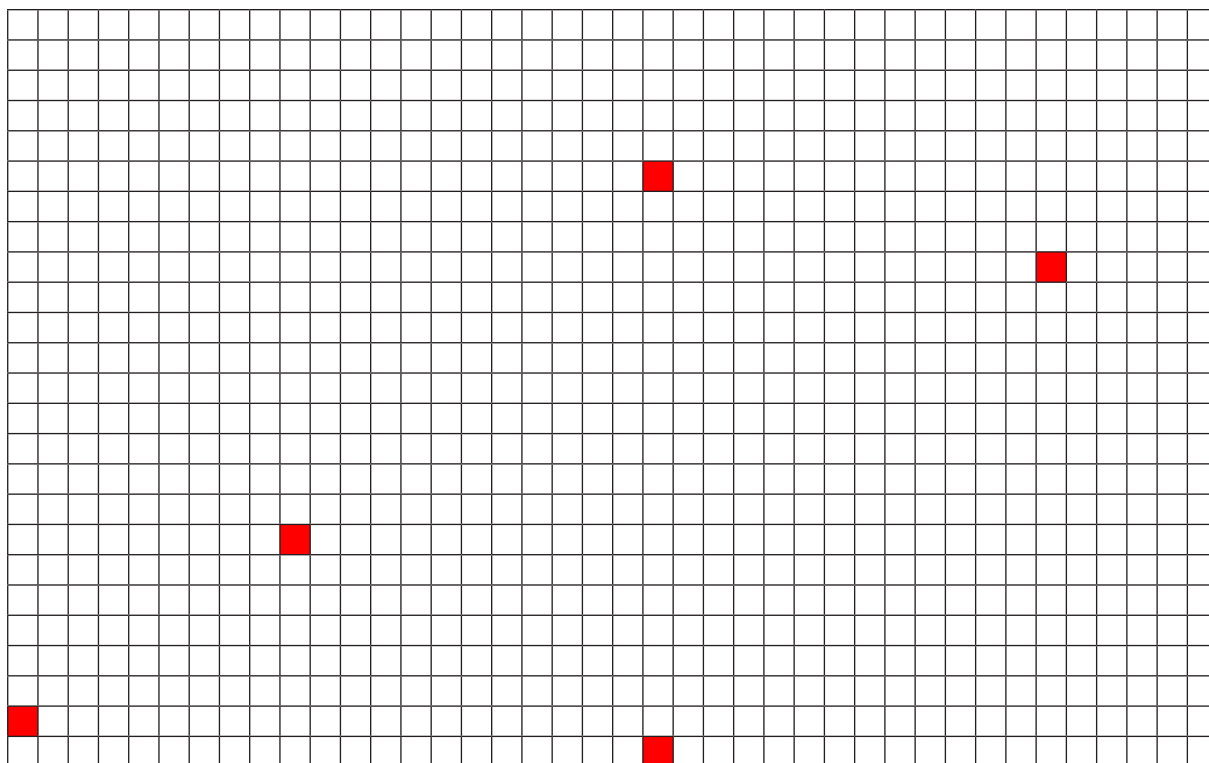
Situation de la mortalité dans 10 ans : Cas 1 (Taux : 15/1000)

INDIVIDU A



Situation de la mortalité dans 10 ans : Cas 2 (Taux : 20/1000)

INDIVIDU B



Situation de la mortalité dans 10 ans : Cas 0 (Taux : 5/1000)

### Annexe 3 : Chefs de ménage par arrondissement et estimation du modèle Logit Multinomiale suivie des tests

#### 3.1/Proportions des chefs de ménage par arrondissement à Cotonou

DIVISIONS ADMINISTRATIVES	TOUS MENAGES					% ménages
	NOMBRE MENAGES	POPULATION RGPH3 2002			TAILLE MENAGE	
		TOTAL	MASCULIN	FEMININ		
DEP: LITTORAL	154 346	665 100	323 168	341 932	4,3	
COM: COTONOU	154 346	665 100	323 168	341 932	4,3	
ARROND: 1er Arrondissement	12 176	55 413	27 076	28 337	4,6	7,9
ARROND: 2ème Arrondissement	12 734	53 708	26 106	27 602	4,2	8,3
ARROND: 3ème Arrondissement	13 368	59 830	29 157	30 673	4,5	8,7
ARROND: 4ème Arrondissement	8 938	39 012	19 460	19 552	4,4	5,8
ARROND: 5ème Arrondissement	7 762	32 864	16 164	16 700	4,2	5,0
ARROND: 6ème Arrondissement	16 637	71 085	34 686	36 399	4,3	10,8
ARROND: 7ème Arrondissement	8 410	36 158	16 963	19 195	4,3	5,4
ARROND: 8ème Arrondissement	9 231	37 631	17 895	19 736	4,1	6,0
ARROND: 9ème Arrondissement	14 718	61 585	30 095	31 490	4,2	9,5
ARROND: 10ème Arrondissement	9 535	41 806	19 737	22 069	4,4	6,2
ARROND: 11ème Arrondissement	8 142	36 219	17 451	18 768	4,4	5,3
ARROND: 12ème Arrondissement	18 172	76 217	37 191	39 026	4,2	11,8
ARROND: 13ème Arrondissement	14 523	63 572	31 187	32 385	4,4	9,4

Source : INSAE, RGPH 2002

**\*3.2-Examen de la variable relative à la qualité de l'air**

. tab airpoll

	Freq.	Percent	Cum.
NON	13	2.23	2.23
OUI	571	97.77	100.00
Total	584	100.00	

**\*3.3-Examen de la variable relative au niveau de gravité de la pollution de l'air**

. tab nivgravpoll

	Freq.	Percent	Cum.
Très grave	385	65.92	65.92
Grave	125	21.40	87.33
Modéré	54	9.25	96.58
Non préoccupant	8	1.37	97.95
Ne sait pas	12	2.05	100.00
Total	584	100.00	

**\*3.4-Résultats d'estimation du modèle Logit Multinomial relatif au niveau de gravité de la pollution de l'air à Cotonou.**

. mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age tempshabit etatsante, baseoutcome(1) nolog

Multinomial logistic regression          Number of obs =    584

LR chi2(56) = 168.04

Prob > chi2 = 0.0000

Log likelihood = -478.60588          Pseudo R2 = 0.1493

```
-----+-----
nivgravpoll |   Coef.   Std. Err.      z    P>|z|   [95% Conf. Interval]
-----+-----
Grave |
      sex |   .3480829   .3020988    1.15   0.249   -0.2440197   .9401856
    profes2 |   .127909   .7674202    0.17   0.868   -1.376207   1.632025
    profes3 |   .4995296   .7415251    0.67   0.501   -0.9538329   1.952892
    profes4 |  -0.7629155   .7518957   -1.01   0.310   -2.236604   .7107729
    profes5 |  -0.132907   .7491642   -0.18   0.859   -1.601242   1.335428
    profes6 |  -0.341594   1.352158   -0.25   0.801   -2.991776   2.308588
    profes7 | -0.4009004   8.40e+08   -0.00   1.000   -1.65e+09   1.65e+09
      niv2 |  -0.5316306   .2567583   -2.07   0.038   -1.034868   -.0283936
      niv3 |  -0.1947537   .4751493   -0.41   0.682   -1.126029   .7365218
      niv4 |   .3009375   .3336846    0.90   0.367   -0.3530723   .9549472
  airpollue |   .0906324   .8204085    0.11   0.912   -1.517339   1.698604
      age |  -0.0222068   .0146104   -1.52   0.129   -0.0508426   .006429
tempshabit |  -0.0029201   .0093937   -0.31   0.756   -0.0213314   .0154911
  etatsante |   .073565   .2402796    0.31   0.759   -0.3973744   .5445043
    _cons |  -0.4164673           .           .           .           .
-----+-----
```

Modéré						
sex	.3479037	.4085559	0.85	0.394	-.4528512	1.148659
profes2	.7236347	1.264599	0.57	0.567	-1.754934	3.202204
profes3	.0590864	1.332235	0.04	0.965	-2.552047	2.670219
profes4	-.6961897	1.323284	-0.53	0.599	-3.289778	1.897399
profes5	.8382712	1.236872	0.68	0.498	-1.585953	3.262495
profes6	1.943851	1.505997	1.29	0.197	-1.007848	4.895551
profes7	-39.57815	1.29e+09	-0.00	1.000	-2.54e+09	2.54e+09
niv2	.512931	.36877	1.39	0.164	-.2098449	1.235707
niv3	.5892164	.7086606	0.83	0.406	-.7997328	1.978166
niv4	.8224116	.485081	1.70	0.090	-.1283298	1.773153
airpollue	.1839466	1.311789	0.14	0.888	-2.387113	2.755006
age	-.0157333	.0194636	-0.81	0.419	-.0538812	.0224146
tempshabit	-.0001174	.0129596	-0.01	0.993	-.0255178	.0252831
etatsante	-.4595138	.3165865	-1.45	0.147	-1.080012	.1609844
_cons	-2.581323	.	.	.	.	.
-----+-----						
Non préocc~t						
sex	-.2512609	1.432783	-0.18	0.861	-3.059463	2.556941
profes2	10.15561	2.998558	3.39	0.001	4.278543	16.03268
profes3	-7.591289	5.12e+08	-0.00	1.000	-1.00e+09	1.00e+09
profes4	-28.17425	3.48e+08	-0.00	1.000	-6.83e+08	6.83e+08
profes5	10.30217	2.913266	3.54	0.000	4.592278	16.01207
profes6	-26.88499	8.61e+08	-0.00	1.000	-1.69e+09	1.69e+09
profes7	-28.46317	2.98e+09	-0.00	1.000	-5.85e+09	5.85e+09
niv2	-21.45773	20578.75	-0.00	0.999	-40355.06	40312.14

niv3	-36.8204	3.54e+08	-0.00	1.000	-6.93e+08	6.93e+08
niv4	.9981356	1.024675	0.97	0.330	-1.01019	3.006461
airpollue	-50.75533	3.159908	-16.06	0.000	-56.94864	-44.56203
age	.0892391	.0582801	1.53	0.126	-.0249878	.203466
tempshabit	-.0977595	.0460847	-2.12	0.034	-.1880838	-.0074353
etatsante	.9550194	1.246527	0.77	0.444	-1.48813	3.398168
_cons	34.14388	.	.	.	.	.
-----+-----						
Ne sait pas						
sex	1.104441	1.372178	0.80	0.421	-1.584978	3.79386
profes2	2.103968	.	.	.	.	.
profes3	-11.58222	3.96e+08	-0.00	1.000	-7.76e+08	7.76e+08
profes4	-35.66526	2.89e+08	-0.00	1.000	-5.67e+08	5.67e+08
profes5	3.281913	1.371218	2.39	0.017	.5943743	5.969452
profes6	-34.75693	7.39e+08	-0.00	1.000	-1.45e+09	1.45e+09
profes7	-34.90317	2.48e+09	-0.00	1.000	-4.86e+09	4.86e+09
niv2	-24.62128	20578.75	-0.00	0.999	-40358.22	40308.98
niv3	-37.64512	2.89e+08	-0.00	1.000	-5.67e+08	5.67e+08
niv4	-.1178729	1.258129	-0.09	0.925	-2.583761	2.348015
airpollue	-53.46509	3.543391	-15.09	0.000	-60.41	-46.52017
age	.1033949	.0614023	1.68	0.092	-.0169515	.2237412
tempshabit	-.0790134	.0467021	-1.69	0.091	-.1705479	.0125211
etatsante	1.925961	1.571814	1.23	0.220	-1.154736	5.006659
_cons	41.83299	.	.	.	.	.

mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age

tempshabit etatsante, baseoutcome(1) rrr nolog

Multinomial logistic regression                      Number of obs = 584

LR chi2(56) = 168.04

Prob > chi2 = 0.0000

Log likelihood = -478.60588

Pseudo R2 = 0.1493

```
-----
```

nivgravpoll	RRR	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
Grave						
sex	1.41635	.4278775	1.15	0.249	.7834722	2.560457
profes2	1.13645	.8721343	0.17	0.868	.2525346	5.11422
profes3	1.647946	1.221993	0.67	0.501	.3852615	7.049045
profes4	.4663049	.3506126	-1.01	0.310	.1068207	2.035564
profes5	.8755465	.6559281	-0.18	0.859	.201646	3.801622
profes6	.7106366	.9608933	-0.25	0.801	.0501982	10.06021
profes7	3.88e-18	3.26e-09	-0.00	1.000	0	.
niv2	.587646	.150883	-2.07	0.038	.3552734	.9720057
niv3	.8230374	.3910656	-0.41	0.682	.3243185	2.088658
niv4	1.351125	.4508495	0.90	0.367	.7025264	2.598533
airpollue	1.094866	.8982378	0.11	0.912	.2192947	5.466309
age	.978038	.0142895	-1.52	0.129	.9504283	1.00645
tempshabit	.9970841	.0093663	-0.31	0.756	.9788945	1.015612
etatsante	1.076338	.2586222	0.31	0.759	.6720823	1.723754

```
-----+-----
```

Modéré |



sex	1.416096	.5785543	0.85	0.394	.6358128	3.153959
profes2	2.061914	2.607495	0.57	0.567	.1729186	24.58665
profes3	1.060867	1.413324	0.04	0.965	.077922	14.44314
profes4	.4984811	.6596319	-0.53	0.599	.0372621	6.668527
profes5	2.312366	2.8601	0.68	0.498	.2047525	26.11462
profes6	6.985602	10.52029	1.29	0.197	.3650036	133.6936
profes7	6.48e-18	8.39e-09	-0.00	1.000	0	.
niv2	1.670179	.6159121	1.39	0.164	.81071	3.44081
niv3	1.802575	1.277414	0.83	0.406	.449449	7.229469
niv4	2.275982	1.104036	1.70	0.090	.8795632	5.889393
airpollue	1.201952	1.576707	0.14	0.888	.0918946	15.72113
age	.9843898	.0191597	-0.81	0.419	.9475446	1.022668
tempshabit	.9998826	.0129581	-0.01	0.993	.974805	1.025605
etatsante	.6315907	.1999531	-1.45	0.147	.3395915	1.174667
-----+-----						
Non préocc~t						
sex	.7778194	1.114446	-0.18	0.861	.0469129	12.89631
profes2	25735.07	77168.1	3.39	0.001	72.13529	9181272
profes3	.0005048	258336.4	-0.00	1.000	0	.
profes4	5.81e-13	.0002023	-0.00	1.000	0	.
profes5	29797.34	86807.59	3.54	0.000	98.71902	8994027
profes6	2.11e-12	.0018149	-0.00	1.000	0	.
profes7	4.35e-13	.0012981	-0.00	1.000	0	.
niv2	4.80e-10	9.87e-06	-0.00	0.999	0	.
niv3	1.02e-16	3.61e-08	-0.00	1.000	0	.
niv4	2.713218	2.780167	0.97	0.330	.3641497	20.21574

airpollue		9.06e-23	2.86e-22	-16.06	0.000	1.85e-25	4.44e-20
age		1.093342	.0637201	1.53	0.126	.9753218	1.225643
tempshabit		.9068669	.0417927	-2.12	0.034	.8285452	.9925923
etatsante		2.598721	3.239377	0.77	0.444	.2257946	29.90927
-----+-----							
Ne sait pas							
sex		3.017536	4.140596	0.80	0.421	.2049522	44.42754
profes2		8.198641	.	.	.	.	.
profes3		9.33e-06	3691.824	-0.00	1.000	0	.
profes4		3.24e-16	9.38e-08	-0.00	1.000	0	.
profes5		26.62666	36.51097	2.39	0.017	1.811897	391.2911
profes6		8.04e-16	5.94e-07	-0.00	1.000	0	.
profes7		6.95e-16	1.72e-06	-0.00	1.000	0	.
niv2		2.03e-11	4.17e-07	-0.00	0.999	0	.
niv3		4.48e-17	1.29e-08	-0.00	1.000	0	.
niv4		.888809	1.118236	-0.09	0.925	.0754896	10.46477
airpollue		6.03e-24	2.14e-23	-15.09	0.000	5.81e-27	6.26e-21
age		1.108929	.0680908	1.68	0.092	.9831914	1.250747
tempshabit		.9240276	.0431541	-1.69	0.091	.8432027	1.0126
etatsante		6.861743	10.78538	1.23	0.220	.3151406	149.4048
-----							

(nivgravpoll==Très grave is the base outcome)

**\*3.5-Résultats des tests de Wald relatifs au Logit Multinomial****. test [Grave]**

- ( 1) [Grave]sex = 0
- ( 2) [Grave]profes2 = 0
- ( 3) [Grave]profes3 = 0
- ( 4) [Grave]profes4 = 0
- ( 5) [Grave]profes5 = 0
- ( 6) [Grave]profes6 = 0
- ( 7) [Grave]profes7 = 0
- ( 8) [Grave]niv2 = 0
- ( 9) [Grave]niv3 = 0
- (10) [Grave]niv4 = 0
- (11) [Grave]airpollue = 0
- (12) [Grave]age = 0
- (13) [Grave]tempshabit = 0
- (14) [Grave]etatsante = 0

$$\text{chi2}( 14) = 58.66$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0000$$

**. test [Modéré]**

- ( 1) [Modéré]sex = 0
- ( 2) [Modéré]profes2 = 0
- ( 3) [Modéré]profes3 = 0
- ( 4) [Modéré]profes4 = 0
- ( 5) [Modéré]profes5 = 0
- ( 6) [Modéré]profes6 = 0
- ( 7) [Modéré]profes7 = 0

- ( 8) [Modéré]niv2 = 0  
 ( 9) [Modéré]niv3 = 0  
 (10) [Modéré]niv4 = 0  
 (11) [Modéré]airpollue = 0  
 (12) [Modéré]age = 0  
 (13) [Modéré]tempshabit = 0  
 (14) [Modéré]etatsante = 0

$$\text{chi2}( 14) = 37.29$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0007$$

. test [Grave]

- ( 1) [Grave]profes2 = 0  
 ( 2) [Grave]profes5 = 0  
 ( 3) [Grave]niv2 = 0  
 ( 4) [Grave]niv3 = 0  
 ( 5) [Grave]airpollue = 0  
 ( 6) [Grave]tempshabit = 0

$$\begin{array}{l} \text{chi2}( 6) = 14.23 \\ \text{Prob} > \text{chi2} = 0.0272 \end{array}$$

. test [Modéré]

- ( 1) [Modéré]profes2 = 0  
 ( 2) [Modéré]profes5 = 0  
 ( 3) [Modéré]niv2 = 0  
 ( 4) [Modéré]niv3 = 0  
 ( 5) [Modéré]airpollue = 0  
 ( 6) [Modéré]tempshabit = 0

$$\begin{array}{l} \text{chi2}( 6) = 34.15 \\ \text{Prob} > \text{chi2} = 0.0000 \end{array}$$

### test profes2

- ( 1) [Grave]profes2 = 0  
 ( 2) [Modéré]profes2 = 0  
 ( 3) [Non préoccupant]profes2 = 0  
 ( 4) [Ne sait pas]profes2 = 0

Constraint 4 dropped

$$\text{chi2}( 3) = 11.80$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0081$$

. test profes3

( 1) [Grave]profes3 = 0

( 2) [Modéré]profes3 = 0

( 3) [Non préoccupant]profes3 = 0

( 4) [Ne sait pas]profes3 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 0.46$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.9774$$

**. test profes4**

( 1) [Grave]profes4 = 0

( 2) [Modéré]profes4 = 0

( 3) [Non préoccupant]profes4 = 0

( 4) [Ne sait pas]profes4 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 1.18$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.8810$$

**. test profes5**

( 1) [Grave]profes5 = 0

( 2) [Modéré]profes5 = 0

( 3) [Non préoccupant]profes5 = 0

( 4) [Ne sait pas]profes5 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 14.17$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0068$$

**. test profes6**

( 1) [Grave]profes6 = 0

( 2) [Modéré]profes6 = 0

( 3) [Non préoccupant]profes6 = 0

( 4) [Ne sait pas]profes6 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 1.86$$

---

Prob > chi2 = 0.7616

**. test profes7**

( 1) [Grave]profes7 = 0

( 2) [Modéré]profes7 = 0

( 3) [Non préoccupant]profes7 = 0

( 4) [Ne sait pas]profes7 = 0

chi2( 4) = 0.00

Prob > chi2 = 1.0000

**. test etatsante**

( 1) [Grave]etatsante = 0

( 2) [Modéré]etatsante = 0

( 3) [Non préoccupant]etatsante = 0

( 4) [Ne sait pas]etatsante = 0

chi2( 4) = 4.05

Prob > chi2 = 0.3993

**. test sex**

( 1) [Grave]sex = 0

( 2) [Modéré]sex = 0

( 3) [Non préoccupant]sex = 0

( 4) [Ne sait pas]sex = 0

chi2( 4) = 2.50

Prob > chi2 = 0.6450

**. test niv2**

( 1) [Grave]niv2 = 0

( 2) [Modéré]niv2 = 0

( 3) [Non préoccupant]niv2 = 0

( 4) [Ne sait pas]niv2 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 9.45$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0508$$

**. test niv3**

( 1) [Grave]niv3 = 0

( 2) [Modéré]niv3 = 0

( 3) [Non préoccupant]niv3 = 0

( 4) [Ne sait pas]niv3 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 0.98$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.9132$$

**. test niv4**

( 1) [Grave]niv4 = 0

( 2) [Modéré]niv4 = 0

( 3) [Non préoccupant]niv4 = 0

( 4) [Ne sait pas]niv4 = 0

$$\text{chi2}( 4) = 4.04$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.4011$$

**. test airpoll**

( 1) [Grave]airpollue = 0

( 2) [Modéré]airpollue = 0

( 3) [Non préoccupant]airpollue = 0

( 4) [Ne sait pas]airpollue = 0

$$\text{chi2}( 4) = 263.69$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0000$$

**. test age**

( 1) [Grave]age = 0

( 2) [Modéré]age = 0

( 3) [Non préoccupant]age = 0

( 4) [Ne sait pas]age = 0

$$\text{chi2}( 4) = 6.85$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.1442$$

**. test tempshabit**

( 1) [Grave]tempshabit = 0

( 2) [Modéré]tempshabit = 0

( 3) [Non préoccupant]tempshabit = 0

( 4) [Ne sait pas]tempshabit = 0

$$\text{chi2}( 4) = 5.03$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.2840$$

**test [Grave=Modéré]**

( 1) [Grave]sex - [Modéré]sex = 0

( 2) [Grave]profes2 - [Modéré]profes2 = 0

( 3) [Grave]profes3 - [Modéré]profes3 = 0

( 4) [Grave]profes4 - [Modéré]profes4 = 0

( 5) [Grave]profes5 - [Modéré]profes5 = 0

( 6) [Grave]profes6 - [Modéré]profes6 = 0

( 7) [Grave]profes7 - [Modéré]profes7 = 0

( 8) [Grave]niv2 - [Modéré]niv2 = 0

( 9) [Grave]niv3 - [Modéré]niv3 = 0

(10) [Grave]niv4 - [Modéré]niv4 = 0

(11) [Grave]airpollue - [Modéré]airpollue = 0

(12) [Grave]age - [Modéré]age = 0

(13) [Grave]tempshabit - [Modéré]tempshabit = 0



(14) [Grave]etatsante - [Modéré]etatsante = 0

chi2( 14) = 80.52

Prob > chi2 = 0.0000

**\*3.6-Résultats du test d'indépendance des alternatives non pertinentes (IIA) de Hausman**

. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante, baseoutcome(1)

. est store all

. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=5, baseoutcome(1)

. est store partiel

. hausman partiel all, alleqs constant

---- Coefficients ----

	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.
-----+-----				
Grave				
sex	.3489641	.3480829	.0008812	.
profes2	.1242249	.127909	-.003684	.
profes3	.4962218	.4995296	-.0033078	.
profes4	-.7657251	-.7629155	-.0028096	.
profes5	-.1353761	-.132907	-.0024691	.
profes6	-.3502657	-.341594	-.0086717	.
profes7	-34.05626	-40.09004	6.033774	.
niv2	-.5340692	-.5316306	-.0024386	.0062872
niv3	-.1978072	-.1947537	-.0030535	.0033653
niv4	.2926009	.3009375	-.0083366	.
airpollue	.1143618	.0906324	.0237294	.

age	-.0220189	-.0222068	.0001878	.
tempshabit	-.0029175	-.0029201	2.60e-06	.
etatsante	.0757385	.073565	.0021735	.006544

-----+-----

Modéré |

sex	.3416142	.3479037	-.0062895	.
profes2	.723987	.7236347	.0003523	.
profes3	.0591771	.0590864	.0000907	.
profes4	-.6961657	-.6961897	.0000239	.
profes5	.8398383	.8382712	.0015671	.
profes6	1.939126	1.943851	-.0047257	.
profes7	-33.54505	-39.57815	6.033098	.
niv2	.5127556	.512931	-.0001754	.0079016
niv3	.5898387	.5892164	.0006223	.0085481
niv4	.8189216	.8224116	-.00349	.
airpollue	.6208971	.1839466	.4369505	.
age	-.0155536	-.0157333	.0001798	.
tempshabit	-.0002035	-.0001174	-.0000861	.0005558
etatsante	-.4601255	-.4595138	-.0006117	.0100883

-----+-----

Non préoccupant|

sex	.3231484	-.2512609	.5744093	.
profes3	-5.887463	-7.591289	1.703826	.
profes4	-35.21136	-28.17425	-7.037116	.
profes5	-2.196547	10.30217	-12.49872	.

profes6		-13.44208	-26.88499	13.44291	.
profes7		-36.27555	-28.46317	-7.812385	.
niv2		-30.03421	-21.45773	-8.576482	1397839
niv3		-33.29761	-36.8204	3.522787	.
niv4		1.020438	.9981356	.0223027	.3153005
age		.0946261	.0892391	.0053871	.0345559
tempshabit		-.0743021	-.0977595	.0234574	.0095817
etatsante		22.4432	.9550194	21.48818	3.139156

-----

b = consistent under Ho and Ha; obtained from mlogit

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\text{chi2}(8) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

$$\text{Prob}>\text{chi2} = 1.0000$$

(V\_b-V\_B is not positive definite)

```
. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante, baseoutcome(1)
```

```
. est store all
```

```
. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=4, baseoutcome(1)
```

```
. est store partiel
```

```
. hausman partiel all, alleqs constant
```

---- Coefficients ----				
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.
-----+-----				
Grave				
sex	.349542	.3480829	.0014591	.
profes2	.1243545	.127909	-.0035544	.
profes3	.4953868	.4995296	-.0041429	.
profes4	-.7663303	-.7629155	-.0034148	.
profes5	-.1375206	-.132907	-.0046137	.
profes6	-.3503394	-.341594	-.0087454	.
profes7	-40.07201	-40.09004	.0180264	.
niv2	-.5314336	-.5316306	.000197	.
niv3	-.1956881	-.1947537	-.0009344	.
niv4	.3001397	.3009375	-.0007978	.0090404
airpollue	.0971542	.0906324	.0065218	.
age	-.0220918	-.0222068	.000115	.
tempshabit	-.0027317	-.0029201	.0001884	.0001888
etatsante	.0730299	.073565	-.000535	.0024534
-----+-----				
Modéré				
sex	.3488518	.3479037	.0009481	.
profes2	.7224157	.7236347	-.001219	.
profes3	.0560783	.0590864	-.0030081	.
profes4	-.6986747	-.6961897	-.002485	.

profes5		.8335793	.8382712	-.0046919	.
profes6		1.938131	1.943851	-.00572	.
profes7		-39.55846	-39.57815	.0196885	.
niv2		.5119667	.512931	-.0009643	.
niv3		.5874765	.5892164	-.0017399	.
niv4		.8186593	.8224116	-.0037522	.0024883
airpollue		-.0273661	.1839466	-.2113128	.
age		-.0157059	-.0157333	.0000274	.
tempshabit		.0000852	-.0001174	.0002026	.
etatsante		-.4585938	-.4595138	.00092	.004131

-----+-----

Ne sait pas					
sex		.7720095	1.104441	-.3324311	.8004045
profes3		-13.46813	-11.58222	-1.885907	1.58e+08
profes4		-35.15378	-35.66526	.5114751	7.61e+07
profes5		3.7209	3.281913	.4389865	.5515102
profes6		-34.81081	-34.75693	-.0538762	2.03e+08
profes7		-32.15814	-34.90317	2.745029	.
niv2		-22.36688	-24.62128	2.254406	19779.66
niv3		-37.02752	-37.64512	.6176014	6.26e+07
niv4		-.2020228	-.1178729	-.0841498	.6062653
airpollue		-53.0705	-53.46509	.3945849	.
age		.1078014	.1033949	.0044065	.0425544
tempshabit		-.1211723	-.0790134	-.0421589	.0601378
etatsante		-.0648486	1.925961	-1.99081	.

-----

b = consistent under Ho and Ha; obtained from mlogit

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\chi^2(7) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

$$\text{Prob} > \chi^2 = 1.0000$$

(V\_b-V\_B is not positive definite)

qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante, baseoutcome(2)

. est store all

. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=5, baseoutcome(2)

. est store partiel

. hausman partiel all, alleqs constant

---- Coefficients ----

	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.

-----+-----

Très grave |

sex	-.3489641	-.3480829	-.0008812	.
profes2	-.1242249	-.127909	.003684	.
profes3	-.4962218	-.4995296	.0033078	.
profes4	.7657251	.7629155	.0028096	.
profes5	.1353761	.132907	.0024691	.
profes6	.3502657	.341594	.0086717	.
niv2	.5340692	.5316306	.0024386	.0062872

niv3	.1978072	.1947537	.0030535	.0033653
niv4	-.2926009	-.3009375	.0083366	.
airpollue	-.114219	-.0906324	-.0235866	.
age	.0220189	.0222068	-.0001878	.
tempshabit	.0029175	.0029201	-2.60e-06	.
etatsante	-.0757385	-.073565	-.0021735	.006544

-----+-----

Modéré |

sex	-.00735	-.0001793	-.0071707	.
profes2	.5997621	.5957257	.0040363	.
profes3	-.4370447	-.4404432	.0033985	.
profes4	.0695594	.0667259	.0028335	.
profes5	.9752144	.9711781	.0040363	.
profes6	2.289391	2.285445	.003946	.
profes7	.5112129	.5118889	-.0006759	.
niv2	1.046825	1.044562	.0022632	.0101125
niv3	.7876459	.7839701	.0036758	.0085466
niv4	.5263207	.5214741	.0048466	.
airpollue	.5070341	.0933142	.4137199	.
age	.0064654	.0064734	-8.07e-06	.
tempshabit	.002714	.0028027	-.0000887	.0005416
etatsante	-.535864	-.5330787	-.0027853	.0118793

-----+-----

Non préoccupant|

sex	-.0258157	-.5993438	.5735281	.
-----	-----------	-----------	----------	---

---

profes3	-4.049199	-4.090847	.0416474	.
profes4	-32.44564	-23.41134	-9.034296	.
profes5	-2.061172	10.43507	-12.49624	.
profes6	-11.08765	-22.5434	11.45575	.
profes7	-2.219292	11.62686	-13.84615	.
niv2	-30.25207	-20.92609	-9.325979	2033007
niv3	-31.23655	-32.62565	1.389103	.
niv4	.7278374	.6971981	.0306393	.3185197
age	.1166451	.1114458	.0051992	.0345706
tempshabit	-.0713846	-.0948394	.0234548	.0096468
etatsante	22.36746	.8814545	21.486	3.161047

---

b = consistent under Ho and Ha; obtained from mlogit

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\text{chi2}(7) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

$$\text{Prob}>\text{chi2} = 1.0000$$

(V\_b-V\_B is not positive definite)

```
. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante, baseoutcome(2)
```

```
. est store all
```

```
. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=4, baseoutcome(2)
```

```
. est store partiel
```

```
. hausman partiel all, alleqs constant
```



---- Coefficients ----				
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.
-----+-----				
Très grave				
sex	-.349542	-.3480829	-.0014591	.
profes2	-.1243545	-.127909	.0035544	.
profes3	-.4953868	-.4995296	.0041429	.
profes4	.7663303	.7629155	.0034148	.
profes5	.1375206	.132907	.0046137	.
profes6	.3503394	.341594	.0087454	.
niv2	.5314336	.5316306	-.000197	.
niv3	.1956881	.1947537	.0009344	.
niv4	-.3001397	-.3009375	.0007978	.0090404
airpollue	-.1062547	-.0906324	-.0156223	.
age	.0220918	.0222068	-.000115	.
tempshabit	.0027317	.0029201	-.0001884	.0001888
etatsante	-.0730299	-.073565	.000535	.0024534
-----+-----				
Modéré				
sex	-.0006902	-.0001793	-.0005109	.
profes2	.5980611	.5957257	.0023354	.
profes3	-.4393085	-.4404432	.0011347	.
profes4	.0676556	.0667259	.0009298	.
profes5	.9710999	.9711781	-.0000782	.
profes6	2.288471	2.285445	.0030253	.

profes7		.513551	.5118889	.0016621	.
niv2		1.0434	1.044562	-.0011614	.
niv3		.7831646	.7839701	-.0008055	.
niv4		.5185197	.5214741	-.0029544	.0075876
airpollue		-.1237124	.0933142	-.2170266	.
age		.0063859	.0064734	-.0000876	.
tempshabit		.0028169	.0028027	.0000142	.
etatsante		-.5316237	-.5330787	.001455	.0049499

-----+-----

Ne sait pas					
sex		.4224675	.7563576	-.3338902	.8004234
profes3		-9.187282	-8.081921	-1.105361	2.12e+07
profes4		-29.57763	-30.90236	1.324727	1.03e+07
profes5		4.668239	3.414801	1.253438	.5518019
profes6		-29.65065	-30.41536	.7647068	2.74e+07
profes7		8.723688	5.186848	3.536841	.
niv2		-21.79971	-24.08965	2.289931	19044.25
niv3		-32.8084	-33.45045	.6420464	7426425
niv4		-.5021624	-.4188104	-.083352	.6061477
airpollue		-53.10252	-53.5557	.4531846	.
age		.1298932	.1256017	.0042915	.0425207
tempshabit		-.1184406	-.0760933	-.0423474	.060122
etatsante		-.1378785	1.852397	-1.990275	.

-----

b = consistent under  $H_0$  and  $H_a$ ; obtained from mlogit

B = inconsistent under  $H_a$ , efficient under  $H_0$ ; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\chi^2(6) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

$$\text{Prob}>\chi^2 = 1.0000$$

(V\_b-V\_B is not positive definite)

qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante, baseoutcome(3)

. est store all

. qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age  
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=5, baseoutcome(3)

. est store partiel

. hausman partiel all, alleqs constant

---- Coefficients ----

	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.

-----+-----

Très grave				
sex	-.3416142	-.3479037	.0062895	.
profes2	-.723987	-.7236347	-.0003523	.
profes3	-.0591771	-.0590864	-.0000906	.
profes4	.6961657	.6961897	-.0000239	.
profes5	-.8398383	-.8382712	-.0015671	.
profes6	-1.939126	-1.943851	.0047257	.
niv2	-.5127556	-.512931	.0001754	.0079016
niv3	-.5898387	-.5892164	-.0006223	.0085482
niv4	-.8189216	-.8224116	.00349	.

airpollue	-.7560091	-.1839466	-.5720624	.
age	.0155536	.0157333	-.0001798	.
tempshabit	.0002035	.0001174	.0000861	.0005558
etatsante	.4601255	.4595138	.0006117	.0100883
-----+-----				
Grave				
sex	.00735	.0001793	.0071707	.
profes2	-.5997621	-.5957257	-.0040363	.
profes3	.4370447	.4404432	-.0033985	.
profes4	-.0695594	-.0667259	-.0028335	.
profes5	-.9752144	-.9711781	-.0040363	.
profes6	-2.289391	-2.285445	-.003946	.
niv2	-1.046825	-1.044562	-.0022632	.0101125
niv3	-.7876459	-.7839701	-.0036758	.0085466
niv4	-.5263207	-.5214741	-.0048466	.
airpollue	-.6041227	-.0933142	-.5108085	.
age	-.0064654	-.0064734	8.07e-06	.
tempshabit	-.002714	-.0028027	.0000887	.0005416
etatsante	.535864	.5330787	.0027853	.0118793
-----+-----				
Non préoc- cupant				
sex	-.0184658	-.5991646	.5806988	.
profes5	-3.036385	9.463888	-12.50027	.
niv2	-29.60556	-21.97065	-7.634912	872993.6
niv4	.2015167	.175724	.0257927	.3190971

age		.1101797	.1049724	.0052073	.0347273
tempshabit		-.0740986	-.0976422	.0235436	.0097415
etatsante		22.90332	1.414533	21.48879	3.206469

b = consistent under Ho and Ha; obtained from mlogit

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\chi^2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

Prob>chi2 = 1.0000

(V\_b-V\_B is not positive definite)

```
qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante, baseoutcome(3)
```

```
est store all
```

```
.qui mlogit nivgravpoll sex profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 airpoll age
tempshabit etatsante if nivgravpoll !=4, baseoutcome(3)
```

```
. est store partiel
```

```
. hausman partiel all, alleqs constant
```

---- Coefficients ----

	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	partiel	all	Difference	S.E.

Très grave					
sex		-.3488518	-.3479037	-.0009481	.
profes2		-.7224157	-.7236347	.001219	.
profes3		-.0560783	-.0590864	.0030081	.
profes4		.6986747	.6961897	.002485	.

profes5		-.8335793	-.8382712	.0046919	.
profes6		-1.938131	-1.943851	.00572	.
niv2		-.5119667	-.512931	.0009643	.
niv3		-.5874765	-.5892164	.0017399	.
niv4		-.8186593	-.8224116	.0037522	.0024883
airpollue		-.0676308	-.1839466	.1163158	.
age		.0157059	.0157333	-.0000274	.
tempshabit		-.0000852	.0001174	-.0002026	.
etatsante		.4585938	.4595138	-.00092	.004131
-----+-----					
Grave					
sex		.0006902	.0001793	.0005109	.
profes2		-.5980611	-.5957257	-.0023354	.
profes3		.4393085	.4404432	-.0011347	.
profes4		-.0676556	-.0667259	-.0009298	.
profes5		-.9710999	-.9711781	.0000782	.
profes6		-2.288471	-2.285445	-.0030253	.
niv2		-1.0434	-1.044562	.0011614	.
niv3		-.7831646	-.7839701	.0008055	.
niv4		-.5185197	-.5214741	.0029544	.0075876
airpollue		.0331162	-.0933142	.1264304	.
age		-.0063859	-.0064734	.0000876	.
tempshabit		-.0028169	-.0028027	-.0000142	.
etatsante		.5316237	.5330787	-.001455	.0049499
-----+-----					
Ne sait pas					

sex		.4231577	.7565369	-.3333792	.7979612
profes5		4.479912	2.44362	2.036292	.5501137
niv2		-22.82666	-25.13421	2.30755	18704.77
niv4		-1.020682	-.9402845	-.0803976	.603479
airpollue		-53.01644	-53.64902	.6325775	.
age		.1235073	.1191282	.0043791	.0424327
tempshabit		-.1212576	-.078896	-.0423616	.0601102
etatsante		.3937452	2.385475	-1.99173	.

b = consistent under Ho and Ha; obtained from mlogit

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from mlogit

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\chi^2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$$

$$= 0.00$$

$$\text{Prob} > \chi^2 = 0.9999$$

(V\_b-V\_B is not positive definite)

### \*3.7-Effets marginaux

mf, predict(p outcome(1))

Marginal effects after mlogit

$$y = \Pr(\text{nivgravpoll}==1) (\text{predict}, p \text{ outcome}(1))$$

$$= .72799724$$

variable		dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
sex*		-.0660905	.77686	-0.00	1.000	-152261 152261	.75
profes2*		-.0636536	153626.9	-0.00	1.000	-301103 301103	.34589

profes3*	-.0823605	125563.8	-0.00	1.000	-246101	246101	.061644
profes4*	.1267988	168763	0.00	1.000	-330769	330770	.109589
profes5*	-.0336075	221127.2	-0.00	1.000	-433401	433401	.429795
profes6*	-.2074494	683349.1	-0.00	1.000	-1.3e+06	1.3e+06	.023973
profes7*	.2999154	.02032	14.76	0.000	.260079	.339752	.003425
niv2*	.0402856	233828.7	0.00	1.000	-458296	458296	.409247
niv3*	-.0170466	192638.4	-0.00	1.000	-377564	377564	.130137
niv4*	-.1008406	164743.7	-0.00	1.000	-322892	322892	.138699
airpol~e*	.7274775	478554.5	0.00	1.000	-937949	937950	.97774
age	.0040238	4659.2	0.00	1.000	-9131.77	9131.78	37.7277
tempsh~t	.0004165	763.63	0.00	1.000	-1496.69	1496.69	22.2239
etatsa~e*	.0191283	124367.1	0.00	1.000	-243755	243755	.719178

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

### **\*3.8-Résumé des variables relatives aux maladies**

. sum toux mauxtete irriyeux ecoulnez mauxgorg doulresp fievre bronchit criscard asthm

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
toux	213	1	0	1	1
mauxtete	310	2	0	2	2
irriyeux	244	3	0	3	3
ecoulnez	229	4	0	4	4
mauxgorg	67	5	0	5	5
doulresp	91	6	0	6	6
fievre	217	7	0	7	7



bronchit	33	8	0	8	8
criscard	16	9	0	9	9
asthm	25	10	0	10	10

### **\*3.9-Examen des variables «genpoll» et «precautionpoll»**

. tab genpoll

	Freq.	Percent	Cum.
NON	28	4.79	4.79
OUI	556	95.21	100.00
Total	584	100.00	

. tab precautionpoll

	Freq.	Percent	Cum.
NON	179	30.65	30.65
OUI	405	69.35	100.00
Total	584	100.00	

### **\*3.10-Examen des variables relatives aux précautions prises**

. sum precautconsom precautchnez precautlunet precautclimveh precautclimserv precautitin  
precautchoihor

Variable	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
precautcon~m	166	1	0	1	1
precautchnez	175	2	0	2	2
precautlunet	263	3	0	3	3

precautcli~h	22	4	0	4	4
precautcli~v	23	5	0	5	5
-----+-----					
precautitin	62	6	0	6	6
precautcho~r	59	7	0	7	7

### \*3.11-Examen des variables socioéconomiques

. sum sex tempshabit age profession nivetude situamatrim tranchrev

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					
sex	584	.75	.4333839	0	1
tempshabit	584	22.22389	14.08584	.25	68
age	584	37.72774	10.33667	18	82
profession	584	3.657534	1.455755	1	7
nivetude	584	2.085616	1.000617	1	4
-----+-----					
situamatrim	584	1.97774	.7133986	1	4
tranchrev	584	4.606164	2.781777	1	9

### Annexe 4 : Description des variables socioéconomiques et sanitaires

4.1/

. tab age

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
18	1	0.17	0.17
20	3	0.51	0.68

---

21	3	0.51	1.20
22	6	1.03	2.23
23	7	1.20	3.42
24	10	1.71	5.14
25	15	2.57	7.71
26	15	2.57	10.27
27	18	3.08	13.36
28	15	2.57	15.92
29	18	3.08	19.01
30	39	6.68	25.68
31	18	3.08	28.77
32	36	6.16	34.93
33	18	3.08	38.01
34	27	4.62	42.64
35	46	7.88	50.51
36	15	2.57	53.08
37	21	3.60	56.68
38	30	5.14	61.82
39	27	4.62	66.44
40	20	3.42	69.86
41	8	1.37	71.23
42	23	3.94	75.17
43	20	3.42	78.60
44	4	0.68	79.28
45	11	1.88	81.16
46	7	1.20	82.36

---

47	6	1.03	83.39
48	8	1.37	84.76
49	9	1.54	86.30
50	15	2.57	88.87
51	3	0.51	89.38
52	7	1.20	90.58
53	6	1.03	91.61
54	3	0.51	92.12
55	5	0.86	92.98
56	4	0.68	93.66
57	4	0.68	94.35
58	5	0.86	95.21
59	3	0.51	95.72
60	5	0.86	96.58
61	1	0.17	96.75
62	2	0.34	97.09
63	1	0.17	97.26
64	2	0.34	97.60
65	2	0.34	97.95
66	2	0.34	98.29
67	2	0.34	98.63
68	1	0.17	98.80
71	2	0.34	99.14
72	2	0.34	99.49
75	1	0.17	99.66
76	1	0.17	99.83

82	1	0.17	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	
4.2/			
. tab tranchage			
	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
[15,20]	3	0.51	0.51
]20,25]	41	7.02	7.53
]25,30]	98	16.78	24.32
]30,35]	145	24.83	49.14
]35,40]	118	20.21	69.35
]40,45]	64	10.96	80.31
]45,50]	47	8.05	88.36
]50,55]	27	4.62	92.98
]55,60]	20	3.42	96.40
]60,65]	8	1.37	97.77
]65,70]	6	1.03	98.80
]70, +infini[	7	1.20	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	

4.3/

tab tranchrev

Votre revenu mensuel se |

situe entre	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
Moins de 30.000FCFA	97	16.61	16.61
30.001FCFA - 40.000FCFA	79	13.53	30.14
40.001FCFA - 50.000FCFA	56	9.59	39.73
50.001FCFA - 60.000FCFA	88	15.07	54.79
60.001FCFA - 70.000FCFA	60	10.27	65.07
70.001FCFA - 80.000FCFA	40	6.85	71.92
80.001FCFA - 90.000FCFA	35	5.99	77.91
90.001FCFA - 10.0000Fca	31	5.31	83.22
Plus de 100.000FCFA	98	16.78	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	

4.4/

. tab profession

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
Elève ou Etudiant	15	2.57	2.57
Zémidjan man	202	34.59	37.16
Fonctionnaire d'Etat	36	6.16	43.32
Fonctionnaire Privé	64	10.96	54.28
Profession libérale	251	42.98	97.26
Retraité	14	2.40	99.66

Chômeur	2	0.34	100.00
---------	---	------	--------

-----+-----

Total	584	100.00	
-------	-----	--------	--

4.5/

tab tempshabit

Précision |

année	Freq.	Percent	Cum.
-------	-------	---------	------

-----+-----

.25	1	0.17	0.17
-----	---	------	------

.5	3	0.51	0.68
----	---	------	------

1	3	0.51	1.20
---	---	------	------

2	9	1.54	2.74
---	---	------	------

3	18	3.08	5.82
---	----	------	------

4	7	1.20	7.02
---	---	------	------

5	14	2.40	9.42
---	----	------	------

6	18	3.08	12.50
---	----	------	-------

7	17	2.91	15.41
---	----	------	-------

8	17	2.91	18.32
---	----	------	-------

9	8	1.37	19.69
---	---	------	-------

10	33	5.65	25.34
----	----	------	-------

11	14	2.40	27.74
----	----	------	-------

12	22	3.77	31.51
----	----	------	-------

13	11	1.88	33.39
----	----	------	-------

14	5	0.86	34.25
----	---	------	-------

15	36	6.16	40.41
----	----	------	-------

16	13	2.23	42.64
----	----	------	-------

---

17	11	1.88	44.52
18	5	0.86	45.38
19	5	0.86	46.23
20	39	6.68	52.91
21	4	0.68	53.60
22	9	1.54	55.14
23	3	0.51	55.65
24	11	1.88	57.53
25	30	5.14	62.67
26	13	2.23	64.90
27	5	0.86	65.75
28	5	0.86	66.61
29	6	1.03	67.64
30	33	5.65	73.29
31	7	1.20	74.49
32	14	2.40	76.88
33	5	0.86	77.74
34	9	1.54	79.28
35	28	4.79	84.08
36	3	0.51	84.59
37	6	1.03	85.62
38	8	1.37	86.99
39	9	1.54	88.53
40	17	2.91	91.44
41	4	0.68	92.12
42	2	0.34	92.47



43	1	0.17	92.64
45	4	0.68	93.32
46	2	0.34	93.66
48	2	0.34	94.01
49	4	0.68	94.69
50	8	1.37	96.06
51	1	0.17	96.23
52	3	0.51	96.75
53	1	0.17	96.92
54	1	0.17	97.09
55	1	0.17	97.26
56	2	0.34	97.60
57	1	0.17	97.77
58	1	0.17	97.95
60	8	1.37	99.32
61	1	0.17	99.49
62	1	0.17	99.66
63	1	0.17	99.83
68	1	0.17	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	
4.6/ tab nivétude			
	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
Primaire	188	32.19	32.19

Secondaire	239	40.92	73.12
Supérieur	76	13.01	86.13
Aucun	81	13.87	100.00

-----+-----

Total	584	100.00	
-------	-----	--------	--

4.7/

tab situamatrim

	Freq.	Percent	Cum.
Célibataire	119	20.38	20.38
Marié (e)	395	67.64	88.01
Divorcé (e)	34	5.82	93.84
Veuf (ve)	36	6.16	100.00

-----+-----

Total	584	100.00	
-------	-----	--------	--

4.8/

tab sex

	Freq.	Percent	Cum.
Féminin	146	25.00	25.00
Masculin	438	75.00	100.00

-----+-----

Total	584	100.00	
-------	-----	--------	--

4.9/

tab fumeur

	Freq.	Percent	Cum.
NON	516	88.36	88.36
OUI	68	11.64	100.00
Total	584	100.00	

4.10/

sum malgentoux malgentete malgenirryeux malgeneclnez malgengorge malgendlresp malgenfievre  
malgenbronch malgencricard malgenasthm

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
malgentoux	53	1	0	1	1
malgentete	72	2	0	2	2
malgenirry~x	68	3	0	3	3
malgeneclnez	77	4	0	4	4
malgengorge	17	5	0	5	5
malgendlresp	22	6	0	6	6
malgenfievre	84	7	0	7	7
malgenbronch	6	8	0	8	8
malgencri~d	7	9	0	9	9
malgenasthm	14	10	0	10	10

4.11/

sum etatsante

Variable	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
-----+-----					
etatsante	584	.7191781	.4497859	0	1

tab etatsante

etatsante	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
0	164	28.08	28.08
1	420	71.92	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	

4.12/

tab visitmedic

visitmedic	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
0	344	58.90	58.90
1	240	41.10	100.00
-----+-----			
Total	584	100.00	

4.13/

tab projdemenagpoll

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
NON	342	58.56	58.56
OUI	242	41.44	100.00

---

Total	584	100.00
-------	-----	--------

**4.14/**

tab capmois

capmois	Freq.	Percent	Cum.
0	68	11.64	11.64
500	217	37.16	48.80
1000	134	22.95	71.75
1500	23	3.94	75.68
2000	68	11.64	87.33
2500	17	2.91	90.24
3000	19	3.25	93.49
3500	5	0.86	94.35
4000	4	0.68	95.03
5000	18	3.08	98.12
6000	11	1.88	100.00

---

Total	584	100.00
-------	-----	--------

sum capmois

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
capmois	584	1202.055	1253.918	0	6000

4.15/

tab sex if capmois==0

	Freq.	Percent	Cum.
Féminin	32	47.06	47.06
Masculin	36	52.94	100.00
Total	68	100.00	

4.16/

sum niv1 niv2 niv3 niv4

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
niv1	584	.3219178	.4676122	0	1
niv2	584	.4092466	.4921164	0	1
niv3	584	.130137	.3367425	0	1
niv4	584	.1386986	.3459281	0	1

sum sitmat1 sitmat2 sitmat3 sitmat4

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
sitmat1	584	.2037671	.4031431	0	1
sitmat2	584	.6763699	.4682618	0	1
sitmat3	584	.0582192	.2343582	0	1
sitmat4	584	.0616438	.2407137	0	1

sum profes1 profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					
profes1	584	.0256849	.1583292	0	1
profes2	584	.3458904	.4760655	0	1
profes3	584	.0616438	.2407137	0	1
profes4	584	.109589	.3126446	0	1
profes5	584	.4297945	.495471	0	1
-----+-----					
profes6	584	.0239726	.1530949	0	1
profes7	584	.0034247	.0584704	0	1

## Annexe 5: Estimation du modèle de CAP et tests

### 5.1-Répartition des répondants à CAP nuls selon leur raison

Raisons évoquées	Nombre de répondants
Aucune raison	19
Responsabilité du gouvernement	13
Manque de moyens financiers	19
Responsabilité individuelle	10
Mauvaise gestion	7
Total	68

*Source : Traitement des données d'enquête, 2010*

### \*5.2-Examen de la variable revenu du modèle de CAP

. sum rev

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					

rev | 584 61061.64 27817.77 25000 105000

tab rev

rev | Freq. Percent Cum.

25000	97	16.61	16.61
35000	79	13.53	30.14
45000	56	9.59	39.73
55000	88	15.07	54.79
65000	60	10.27	65.07
75000	40	6.85	71.92
85000	35	5.99	77.91
95000	31	5.31	83.22
105000	98	16.78	100.00
Total	584	100.00	

### \*5.3-Résultats du test d'endogénéité de la variable revenu

. reg rev profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 age agecar

Source	SS	df	MS	Number of obs = 584
-----+-----				F( 11, 572) = 17.89
Model	1.1550e+11	11	1.0500e+10	Prob > F = 0.0000
Residual	3.3564e+11	572	586778588	R-squared = 0.2560
-----+-----				Adj R-squared = 0.2417
Total	4.5114e+11	583	773828097	Root MSE = 24224

rev	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
profes2	38417.17	7615.511	5.04	0.000	23459.39	53374.94
profes3	42525.07	7896.153	5.39	0.000	27016.08	58034.06
profes4	36319.11	7445.49	4.88	0.000	21695.28	50942.95



```

profes5 | 31036.36 7562.093 4.10 0.000 16183.5 45889.21
profes6 | 41142.91 10541.18 3.90 0.000 20438.77 61847.05
profes7 | 42877.5 18930.1 2.27 0.024 5696.508 80058.5
niv2 | 9354.046 2428.965 3.85 0.000 4583.267 14124.82
niv3 | 35710.81 4325.342 8.26 0.000 27215.32 44206.3
niv4 | -6856.805 3258.706 -2.10 0.036 -13257.29 -456.3152
age | 1549.493 611.4799 2.53 0.012 348.4729 2750.513
agecar | -16.35683 7.130223 -2.29 0.022 -30.36144 -2.352219
_cons | -14257 12864.97 -1.11 0.268 -39525.34 11011.34

```

```
-----
. predict Résidu, re
```

```

. tobit capmois Résidu profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 age fumeur sex
projdemenagpoll tempshabit, ll(0)

```

```
Tobit regression          Number of obs = 584
```

```
LR chi2(15) = 135.93
```

```
Prob > chi2 = 0.0000
```

```
Log likelihood = -4462.7022   Pseudo R2   = 0.0150
```

```
-----
capmois |   Coef.   Std. Err.   t   P>|t|   [95% Conf. Interval]
-----+-----
Résidu |   .0126985   .00216   5.88   0.000   .008456   .0169409
profes2 |  1159.841  391.6305   2.96   0.003   390.6227  1929.058
profes3 |  1359.466  396.0089   3.43   0.001   581.6478  2137.283
profes4 |  1296.056  375.7281   3.45   0.001   558.0728  2034.039
profes5 |   984.1127  383.1647   2.57   0.010   231.5229  1736.703

```

```

profes6 | 938.2114 541.1861 1.73 0.084 -124.755 2001.178
profes7 | -173.1694 1112.438 -0.16 0.876 -2358.155 2011.816
niv2 | 94.01066 126.1164 0.75 0.456 -153.6999 341.7212
niv3 | 1387.61 222.8744 6.23 0.000 949.8526 1825.366
niv4 | -112.7782 168.9644 -0.67 0.505 -444.6482 219.0919
age | .4274016 6.630688 0.06 0.949 -12.59621 13.45101
fumeur | 305.1749 162.8 1.87 0.061 -14.58736 624.9372
sex | -115.6599 137.3095 -0.84 0.400 -385.3553 154.0355
projdemena~l | 234.5165 107.5793 2.18 0.030 23.21547 445.8176
tempshabit | -7.136856 4.374483 -1.63 0.103 -15.72896 1.45525
_cons | -63.78975 407.605 -0.16 0.876 -864.3838 736.8043

```

```

-----+-----
/sigma | 1218.131 38.68384 1142.151 1294.112
-----

```

Obs. summary: 68 left-censored observations at capmois<=0

516 uncensored observations

0 right-censored observations

#### **\*5.4-Résultats d'estimation du Tobit censuré en prenant en compte l'endogénéité.**

```
. ivtobit capmois (rev= profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 age agecar) age
agecar fumeur sex projdemena~l tempshabit, nolog ll(0)
```

Tobit model with endogenous regressors Number of obs = 584

Wald chi2(7) = 84.57

Log likelihood = -11176.616

Prob > chi2 = 0.0000

capmois	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
rev	.038875	.005004	7.77	0.000	.0290672	.0486827
age	-35.74973	35.16143	-1.02	0.309	-104.6649	33.16541
agecar	.2539721	.3915639	0.65	0.517	-.5134791	1.021423
fumeur	356.1625	182.3019	1.95	0.051	-1.142731	713.4677
sex	-355.7461	150.4029	-2.37	0.018	-650.5303	-60.96182
projdemenagpoll	133.4575	122.3881	1.09	0.276	-106.4187	373.3337
tempshabit	-.6899899	4.930186	-0.14	0.889	-10.35298	8.972998
_cons	-113.2624	684.2152	-0.17	0.869	-1454.3	1227.775
/alpha	-.0266221	.0054899	-4.85	0.000	-.0373822	-.015862
/lns	7.112037	.0318716	223.15	0.000	7.04957	7.174504
/lnv	10.07097	.0293588	343.03	0.000	10.01343	10.12851
s	1226.644	39.09513			1152.363	1305.713
v	23646.52	694.2334			22324.26	25047.1

Instrumented: rev

Instruments: age agecar fumeur sex projdemenagpoll tempshabit profes2

profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4

Wald test of exogeneity (/alpha = 0): chi2(1) = 23.52 Prob > chi2 = 0.0000

Obs. summary: 68 left-censored observations at capmois<=0

516 uncensored observations

0 right-censored observations

estat ic

```
-----
Model | Obs ll(null) ll(model) df   AIC   BIC
-----+-----
      | 584      . -11176.62  27  22407.23  22525.22
-----
```

### **\*5.5-Résultats des tests d'hypothèse de Wald relatifs au Tobit censuré**

test rev

( 1) [capmois]rev = 0

chi2( 1) = 60.35

Prob > chi2 = 0.0000

. test age

( 1) [capmois]age = 0

( 2) [rev]age = 0

chi2( 2) = 9.50

Prob > chi2 = 0.0087

. test agecar

( 1) [capmois]agecar = 0

( 2) [rev]agecar = 0

chi2( 2) = 6.47

Prob > chi2 = 0.0394

. test fumeur

( 1) [capmois]fumeur = 0

( 2) [rev]fumeur = 0

$$\text{chi2}(2) = 3.84$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.1465$$

. test sex

$$(1) [\text{capmois}]_{\text{sex} = 0}$$

$$(2) [\text{rev}]_{\text{sex} = 0}$$

$$\text{chi2}(2) = 12.42$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0020$$

. test projdemenagpoll

$$(1) [\text{capmois}]_{\text{projdemenagpoll} = 0}$$

$$(2) [\text{rev}]_{\text{projdemenagpoll} = 0}$$

$$\text{chi2}(2) = 6.34$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0420$$

. test tempshabit

$$(1) [\text{capmois}]_{\text{tempshabit} = 0}$$

$$(2) [\text{rev}]_{\text{tempshabit} = 0}$$

$$\text{chi2}(2) = 7.88$$

$$\text{Prob} > \text{chi2} = 0.0194$$

### **\*5.6-CAP moyen et effets marginaux après le Tobit censuré**

. mfx compute, predict(e(0,.)) eqlist(capmois)

Marginal effects after ivtobit

$$y = E(\text{capmois} | \text{capmois} > 0) (\text{predict}, e(0,.))$$

$$= 1616.6232$$

-----

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
----------	-------	-----------	---	------	--------------	---

-----+-----

---

rev	.0222901	.0029	7.67	0.000	.016597	.027983	61061.6
age	-20.49816	20.166	-1.02	0.309	-60.0223	19.026	37.7277
agecar	.1456224	.22454	0.65	0.517	-.294474	.585719	1530.05
fumeur*	214.5882	115.25	1.86	0.063	-11.3069	440.483	.116438
sex*	-210.7242	92.11	-2.29	0.022	-391.256	-30.1924	.75
projde~l*	76.84657	70.786	1.09	0.278	-61.8908	215.584	.414384
tempsh~t	-.3956261	2.82686	-0.14	0.889	-5.93617	5.14492	22.2239

---

(\*)  $dy/dx$  is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

### \*5.7-Les résultats relatifs à l'estimation du Tobit généralisé

#### 5.6/a: Première étape de l'estimation

probit D1 rev age agecar tempshabit sex airpollue , robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -210.10456

Iteration 1: log pseudolikelihood = -191.67365

Iteration 2: log pseudolikelihood = -191.37303

Iteration 3: log pseudolikelihood = -191.37257

Iteration 4: log pseudolikelihood = -191.37257

Probit regression                      Number of obs =    584

Wald chi2(6) =    40.27

Prob > chi2 =    0.0000

Log pseudolikelihood = -191.37257              Pseudo R2 =    0.0892

---

	Robust						
D1	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]		
rev	9.23e-06	2.58e-06	3.58	0.000	4.18e-06	.0000143	
age	-.0340168	.0363392	-0.94	0.349	-.1052403	.0372066	
agecar	.0001979	.0003905	0.51	0.612	-.0005675	.0009633	
tempshabit	-.0027087	.0056198	-0.48	0.630	-.0137233	.008306	

---

```

sex | .4171802 .14547 2.87 0.004 .1320643 .7022961
airpollue | .5642082 .3830449 1.47 0.141 -.1865461 1.314962
_cons | .9041103 .8381623 1.08 0.281 -.7386575 2.546878

```

-----

predict D1f

(option pr assumed; Pr(D1))

.sum D1f

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
D1f	584	.8834339	.0882843	.3402517	.9815564

.lstat

Probit model for D1

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
+	515	66	581
-	1	2	3
Total	516	68	584

Classified + if predicted Pr (D) >= .5

True D defined as D1! = 0

Sensitivity	Pr( +  D)	99.81%
Specificity	Pr( - ~D)	2.94%
Positive predictive value	Pr( D  +)	88.64%
Negative predictive value	Pr(~D  -)	66.67%

False + rate for true ~D	Pr( + ~D)	97.06%
False - rate for true D	Pr( -  D)	0.19%
False + rate for classified +	Pr(~D  +)	11.36%

False - rate for classified -  $\Pr(D| -)$  33.33%

-----  
 Correctly classified                    88.53%  
 -----

### 5.6/b: Deuxième étape de l'estimation

```
. gen zo=_b[rev]*rev+_b[age]*age+_b[agecar]*agecar+_b[tempshabit]*tempshabit+_b[
> sex]*sex+_b[airpollue]*airpollue+_b[_cons]*_cons
```

```
. gen lambdao=normalden(zo)/normprob(zo)
```

```
. reg capmois rev age agecar fumeur sex projdemena~l tempshabit lambdao if D1
```

```
> ==1
```

Source	SS	df	MS	Number of obs = 516	
			-----+----- F( 8, 507) = 11.06		
Model	119656489	8	14957061.2	Prob > F	= 0.0000
Residual	685796999	507	1352656.8	R-squared	= 0.1486
			-----+----- Adj R-squared = 0.1351		
Total	805453488	515	1563987.36	Root MSE	= 1163

capmois	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
rev	.0119138	.0039196	3.04	0.002	.004213	.0196145
age	36.48714	31.47302	1.16	0.247	-25.34645	98.32074
agecar	-.313763	.3455922	-0.91	0.364	-.9927321	.365206
fumeur	297.0869	160.5561	1.85	0.065	-18.35038	612.5242
sex	-473.6464	234.1021	-2.02	0.044	-933.5761	-13.71671
projdemena~l	200.7967	105.7718	1.90	0.058	-7.008382	408.6017
tempshabit	-3.157024	4.609835	-0.68	0.494	-12.21376	5.899707
lambdao	-1360.084	1347.351	-1.01	0.313	-4007.162	1286.994
_cons	311.8408	699.5407	0.45	0.656	-1062.515	1686.196

```
. hettest
```

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity



Ho: Constant variance

Variables: fitted values of capmois

chi2(1) = 87.43

Prob > chi2 = 0.0000

predict capmoisf

(option xb assumed; fitted values)

. sum capmoisf

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
capmoisf	584	1334.509	477.9082	-10.03971	2743.973

. mfx

Marginal effects after regress

y = Fitted values (predict)

= 1360.4651

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
rev	.0119138	.00392	3.04	0.002	.004231 .019596	62693.8
age	36.48714	31.473	1.16	0.246	-25.1988 98.1731	37.2384
agecar	-.313763	.34559	-0.91	0.364	-.991111 .363585	1485.47
fumeur*	297.0869	160.56	1.85	0.064	-17.5974 611.771	.118217
sex*	-473.6464	234.1	-2.02	0.043	-932.478 -14.8147	.77907
projde~1*	200.7967	105.77	1.90	0.058	-6.51231 408.106	.430233
tempsh~t	-3.157024	4.60984	-0.68	0.493	-12.1921 5.87809	21.6904
lambdao	-1360.084	1347.4	-1.01	0.313	-4000.84 1280.67	.202163

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

gen moyencapmois=D1f\*capmoisf

. sum moyencapmois

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
moyencapmois	584	1200.168	484.9823	-3.416029	2478.25

estat ic

```
-----
Model | Obs ll(null) ll(model) df AIC BIC
-----+-----
. | 516 -4411.461 -4369.969 9 8757.937 8796.152
-----
```

### Annexe 6 : Description des variables relatives à la mortalité et estimation du modèle de CAP correspondant

#### \*6.1-Examen de la variable âge avec âge >= 40

. tab agesupe40

```
      | Freq. Percent Cum.
-----+-----
NON |   388   66.44  66.44
OUI |   196   33.56 100.00
-----+-----
Total |   584  100.00
```

#### \*6.2-Examen de la variable sexe avec âge >= 40

. tab sex if age &gt;= 40

```
      | Freq. Percent Cum.
-----+-----
Féminin |    68   34.69  34.69
Masculin |   128   65.31 100.00
-----+-----
Total |   196  100.00
```

#### \*6.3-Résumé des variables relatives aux maladies déclarés par les répondants de 40 ans et plus

. sum Masthmact Mgorgact Mrespact Mcardact Myeuxact Mrhumact Mtouxact Mautract if age &gt;= 40

```
Variable | Obs Mean Std. Dev. Min Max
```

Masthmact	6	1	0	1	1
Mgorgact	12	2	0	2	2
Mrespact	23	3	0	3	3
Mcardact	4	4	0	4	4
Myeuxact	37	5	0	5	5
Mrhumact	37	6	0	6	6
Mtouxact	27	7	0	7	7
Mautract	61	8	0	8	8

#### \*6.4-Description des variables

a)

. tab Malactu if age >= 40

Malactu	Freq.	Percent	Cum.
0	53	27.04	27.04
1	143	72.96	100.00
Total	196	100.00	

b)

. tab Mtauxmortpoll

	Freq.	Percent	Cum.
5/1000	9	4.59	4.59
10/1000	16	8.16	12.76

15/1000	70	35.71	48.47
20/1000	101	51.53	100.00

-----+-----  
 Total | 196 100.00

c)

tab Mrisqdecelv

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

-----+-----  
 Individu A | 17 8.67 8.67

Individu B | 179 91.33 100.00

-----+-----  
 Total | 196 100.00

d)

tab Mchoixind

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

-----+-----  
 Individu A | 180 91.84 91.84

Individu B | 16 8.16 100.00

-----+-----  
 Total | 196 100.00

e)

tab Mtraitmed10

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

-----+-----  
 OUI | 165 84.18 84.18

NON	20	10.20	94.39
Ne Sait pas	11	5.61	100.00

-----+-----  
 Total | 196 100.00

f)

tab Mtraitmed10 if Mtauxmortpoll==3

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

OUI	62	88.57	88.57
NON	5	7.14	95.71
Ne Sait pas	3	4.29	100.00

-----+-----  
 Total | 70 100.00

g)

. tab Mtraitmed10 if Mtauxmortpoll==4

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

OUI	89	88.12	88.12
NON	6	5.94	94.06
Ne Sait pas	6	5.94	100.00

-----+-----  
 Total | 101 100.00

h)

. sum Mcapmax

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Mcapmax	196	6200	9425.527	0	60000

i)

. tab Mcapmax

	Freq.	Percent	Cum.
0	24	12.24	12.24
300	1	0.51	12.76
500	16	8.16	20.92
600	1	0.51	21.43
800	1	0.51	21.94
850	3	1.53	23.47
1000	21	10.71	34.18
1500	6	3.06	37.24
1850	2	1.02	38.27
2000	15	7.65	45.92
2200	3	1.53	47.45
2350	3	1.53	48.98
2500	8	4.08	53.06
3000	4	2.04	55.10
3500	4	2.04	57.14
3600	1	0.51	57.65
4000	5	2.55	60.20

4500		2	1.02	61.22
5000		18	9.18	70.41
6000		2	1.02	71.43
7000		2	1.02	72.45
7500		1	0.51	72.96
9000		1	0.51	73.47
10000		19	9.69	83.16
10500		7	3.57	86.73
11000		1	0.51	87.24
15000		10	5.10	92.35
20000		6	3.06	95.41
30000		3	1.53	96.94
35000		2	1.02	97.96
50000		3	1.53	99.49
60000		1	0.51	100.00
-----+-----				
Total		196	100.00	

j)

. tab Mtraitmedprivivr

		Freq.	Percent	Cum.
-----+-----				
OUI		168	85.71	85.71
NON		16	8.16	93.88
Ne Sait pas		12	6.12	100.00
-----+-----				
Total		196	100.00	

k)

. tab Mcapmax1prvivr

	Freq.	Percent	Cum.
0	28	14.29	14.29
500	12	6.12	20.41
1000	22	11.22	31.63
1500	5	2.55	34.18
1800	1	0.51	34.69
2000	18	9.18	43.88
2200	1	0.51	44.39
2500	6	3.06	47.45
3000	6	3.06	50.51
3500	2	1.02	51.53
3600	1	0.51	52.04
4000	1	0.51	52.55
5000	28	14.29	66.84
6000	1	0.51	67.35
7000	3	1.53	68.88
10000	22	11.22	80.10
10500	2	1.02	81.12
12000	1	0.51	81.63
15000	10	5.10	86.73
18000	1	0.51	87.24
20000	11	5.61	92.86
25000	2	1.02	93.88



30000	1	0.51	94.39
35000	2	1.02	95.41
40000	3	1.53	96.94
50000	5	2.55	99.49
150000	1	0.51	100.00

-----+-----  
 Total | 196 100.00

. sum Mcapmax1prvivr

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					
Mcapmax1pr~r	196	8168.878	14676.62	0	150000

l)

tab Mcapmax2prvivr

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
0	28	14.29	14.29
500	12	6.12	20.41
1000	18	9.18	29.59
1500	6	3.06	32.65
1800	1	0.51	33.16
2000	18	9.18	42.35
2200	1	0.51	42.86
2500	6	3.06	45.92
3000	8	4.08	50.00

3500	1	0.51	50.51
3600	1	0.51	51.02
4000	4	2.04	53.06
5000	24	12.24	65.31
6000	3	1.53	66.84
7000	2	1.02	67.86
8000	1	0.51	68.37
10000	21	10.71	79.08
10500	1	0.51	79.59
12000	1	0.51	80.10
15000	10	5.10	85.20
20000	14	7.14	92.35
25000	2	1.02	93.37
30000	2	1.02	94.39
40000	2	1.02	95.41
50000	7	3.57	98.98
100000	1	0.51	99.49
200000	1	0.51	100.00

-----+-----  
Total | 196 100.00

. sum Mcapmax2prvivr

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					
Mcapmax2pr~r	196	9171.429	18763.16	0	200000

**\*6.5-Vérification du biais de sélection****. \*Estimation 1ère étape : Probit**

```
probit Ind sitmat2 sitmat3 sitmat4 rev fumeur precautionpoll, robust
```

```
Probit regression           Number of obs =   584
```

```
Wald chi2(6) =   71.53
```

```
Prob > chi2 =   0.0000
```

```
Log pseudolikelihood = -327.24721       Pseudo R2 =   0.1218
```

```
-----+-----
```

	Robust					
Ind	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
sitmat2	.9794823	.184758	5.30	0.000	.6173632	1.341601
sitmat3	1.813798	.2842559	6.38	0.000	1.256667	2.37093
sitmat4	2.052344	.2862707	7.17	0.000	1.491264	2.613425
rev	5.87e-06	2.13e-06	2.75	0.006	1.69e-06	.0000101
fumeur	-.0827844	.1783387	-0.46	0.643	-.4323218	.266753
precaution~1	-.0070234	.1288783	-0.05	0.957	-.2596201	.2455734
_cons	-1.73598	.2205875	-7.87	0.000	-2.168324	-1.303637

```
-----+-----
```

**\*Table de prédiction du Probit**

lstat

Probit model for Ind

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
+	48	22	70
-	148	366	514
Total	196	388	584

Classified + if predicted  $\Pr(D) \geq .5$ 

True D defined as Ind != 0

Sensitivity	$\Pr(+ D)$		24.49%
Specificity	$\Pr(- \sim D)$		94.33%
Positive predictive value	$\Pr(D +)$		68.57%
Negative predictive value	$\Pr(\sim D -)$		71.21%
False + rate for true ~D	$\Pr(+ \sim D)$		5.67%
False - rate for true D	$\Pr(- D)$		75.51%
False + rate for classified +	$\Pr(\sim D +)$		31.43%
False - rate for classified -	$\Pr(D -)$		28.79%

Correctly classified			70.89%
----------------------	--	--	--------

**\*calcul du ratio de Mills**

```
. gen z=_b[sitmat2]*sitmat2+_b[sitmat3]*sitmat3+_b[sitmat4]*sitmat4+_b[rev]*rev+_b[fumeur]*f
umeur+_b[precautionpoll]*precautionpoll+_b[_cons]*_cons
```

```
. gen lambda1=normalden(z)/normprob(z)
```

**\*Estimation deuxième étape : MCO**

```
. reg Mcapmax rev Malactu age agecar tempshabit sex fumeur lambda1 if Ind==1
```

Source	SS	df	MS	Number of obs =	196
-----+-----				F( 8, 187) =	4.99
Model	3.0468e+09	8	380855997	Prob > F	= 0.0000
Residual	1.4277e+10	187	76347925.3	R-squared	= 0.1759
-----+-----				Adj R-squared =	0.1406
Total	1.7324e+10	195	88840564.1	Root MSE	= 8737.7

Mcapmax	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
-----+-----					
rev	.1329945	.0236948	5.61	0.000	.0862511 .179738
Malactu	-566.7996	1419.8	-0.40	0.690	-3367.683 2234.084
age	-25.43425	729.1979	-0.03	0.972	-1463.946 1413.077
agecar	.6174962	6.663001	0.09	0.926	-12.52681 13.7618
tempshabit	-27.67494	44.05619	-0.63	0.531	-114.5859 59.23606
sex	-556.2598	1451.819	-0.38	0.702	-3420.307 2307.788
fumeur	1909.173	2067.155	0.92	0.357	-2168.768 5987.115
lambda1	2286.324	2101.78	1.09	0.278	-1859.923 6432.571
_cons	-3587.101	19636.64	-0.18	0.855	-42324.9 35150.7

**\*6.6- Estimation par la méthode « heckit »**

. heckman Mcapmax rev Malactu age agecar tempshabit fumeur sex airpollue, select(Ind rev sitmat2 sitmat3 sitmat4 fumeu r precautionpoll)

Iteration 0: log likelihood = -2052.3618 (not concave)

Iteration 1: log likelihood = -2052.3618 (not concave)

Heckman selection model                      Number of obs = 584

(regression model with sample selection)      Censored obs = 388

Uncensored obs = 196

Wald chi2(8) = 41.64

Log likelihood = -2052.362

Prob > chi2 = 0.0000

	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
<i>Mcaptopmax</i>						
rev	.1281682	.0224293	5.71	0.000	.0842075	.1721289
Malactu	-669.4664	1392.829	-0.48	0.631	-3399.361	2060.428
age	155.8134	712.5133	0.22	0.827	-1240.687	1552.314
agecar	-1.098986	6.50049	-0.17	0.866	-13.83971	11.64174
tempshabit	-37.16428	42.87515	-0.87	0.386	-121.198	46.86947
fumeur	2070.182	2023.076	1.02	0.306	-1894.974	6035.338
sex	-2.72324	1361.121	-0.00	0.998	-2670.471	2665.024
airpollue	-4134.629	3968.327	-1.04	0.297	-11912.41	3643.149
_cons	-1729.643	19255.56	-0.09	0.928	-39469.84	36010.55
-----+-----						

```

select |
      Ind | 12.15952      .      .      .      .      .
      rev | -3.74e-09 .0145761 -0.00 1.000 -.0285687 .0285687
sitmat2 | -.000401  856.503 -0.00 1.000 -1678.715 1678.715
sitmat3 | .0022931 2242.466  0.00 1.000 -4395.151 4395.156
sitmat4 | .0028556 2415.95  0.00 1.000 -4735.172 4735.177
fumeur | -.0007781 1156.138 -0.00 1.000 -2265.99 2265.988
precaution~1 | -.0004902 826.8547 -0.00 1.000 -1620.606 1620.605
      _cons | -6.114376 1099.099 -0.01 0.996 -2160.309 2148.081
-----+-----
      /athrho | 16.98099      .      .      .      .      .
      /lnsigma | 9.052295 .0505076 179.23 0.000  8.953302 9.151288
-----+-----
      rho |      1      .      -1      1
      sigma | 8538.11 431.2397      7733.384 9426.575
      lambda | 8538.11      .      .      .
-----+-----

```

LR test of indep. eqns. (rho = 0): chi2(1) = -0.00 Prob > chi2 = 1.0000

### \*6.7-Estimation du modèle par MCO

```
. reg Mcapmax rev Malactu age agecar tempshabit fumeur sex airpollue if Ind==1, robust
```

```

Linear regression      Number of obs =   196
                      F( 8, 187) =   5.75
                      Prob > F   = 0.0000
                      R-squared   = 0.1752
                      Root MSE  = 8741.2

```

---

	Robust					
Mcapmax	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
rev	.1281682	.0244021	5.25	0.000	.0800295	.1763069
Malactu	-669.4664	1554.572	-0.43	0.667	-3736.218	2397.286
age	155.8134	708.8939	0.22	0.826	-1242.644	1554.27
agecar	-1.098986	6.080292	-0.18	0.857	-13.09377	10.8958
tempshabit	-37.16428	31.39163	-1.18	0.238	-99.09152	24.76297
fumeur	2070.182	2481.925	0.83	0.405	-2825.989	6966.352
sex	-2.72324	1477.92	-0.00	0.999	-2918.261	2912.815
airpollue	-4134.629	3772.161	-1.10	0.274	-11576.09	3306.831
_cons	-1729.643	19572.55	-0.09	0.930	-40341.01	36881.73

---

**\*a-Test d'hétéroscédasticité**

. hetttest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: fitted values of Mcapmax

chi2(1) = 60.46

Prob > chi2 = 0.0000



**\*b-Prédiction du Mcapmax à partir du modèle linéaire**

predict Mcapmaxf

(option xb assumed; fitted values)

. sum Mcapmaxf

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Mcapmaxf	584	5500.057	3748.098	-581.6964	14298.4

**\*6.8-Effets marginaux**

mfx

Marginal effects after regress

y = Fitted values (predict)

= 6200

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
rev	.1281682	.0244	5.25	0.000	.080341 .175995	65714.3
Malactu*	-669.4664	1554.6	-0.43	0.667	-3716.37 2377.44	.729592
age	155.8134	708.89	0.22	0.826	-1233.59 1545.22	49.2551
agecar	-1.098986	6.08029	-0.18	0.857	-13.0161 10.8182	2498.96
tempsh~t	-37.16428	31.392	-1.18	0.236	-98.6907 24.3622	30.2321
fumeur*	2070.182	2481.9	0.83	0.404	-2794.3 6934.67	.107143
sex*	-2.72324	1477.9	-0.00	0.999	-2899.39 2893.95	.653061
airpol~e*	-4134.629	3772.2	-1.10	0.273	-11527.9 3258.67	.97449

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

**\*6.9-Estimation du modèle Probit de participation au programme**

```
. probit particip niv2 niv3 niv4 Mchoixind rev Malactu airpollue
```

```
Iteration 0: log likelihood = -85.575867
```

```
Iteration 1: log likelihood = -75.718042
```

```
Iteration 2: log likelihood = -75.494737
```

```
Iteration 3: log likelihood = -75.493985
```

```
Probit regression           Number of obs =    196
```

```
LR chi2(7) = 20.16
```

```
Prob > chi2 = 0.0052
```

```
Log likelihood = -75.493985   Pseudo R2 = 0.1178
```

```
-----
```

particip	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
niv2	.7164516	.3055355	2.34	0.019	.117613	1.31529
niv3	.241453	.4144243	0.58	0.560	-.5708036	1.05371
niv4	.0902213	.3187084	0.28	0.777	-.5344357	.7148783
Mchoixind	-.6860187	.3697413	-1.86	0.064	-1.410698	.0386609
rev	7.22e-06	4.72e-06	1.53	0.126	-2.03e-06	.0000165
Malactu	.2438634	.2546833	0.96	0.338	-.2553067	.7430335
airpollue	-.2714931	.6837472	-0.40	0.691	-1.611613	1.068627
_cons	1.112867	.9198395	1.21	0.226	-.6899856	2.915719

```
-----
```

**\*Prédiction de la probabilité de participation au programme**

```
predict participf
```

```
(option pr assumed; Pr(particip))
```

```
(388 missing values generated)
```

```
. sum participf
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
participf	196	.8415398	.1213765	.3631142	.9695239

**\*6.10-Table de prédiction du Probit de participation au programme**

```
lstat
```

```
Probit model for particip
```

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
+	164	28	192
-	1	3	4
Total	165	31	196

Classified + if predicted  $\text{Pr}(D) \geq .5$

True D defined as  $\text{particip} \neq 0$

Sensitivity	$\text{Pr}(+ D)$	99.39%
Specificity	$\text{Pr}(- \sim D)$	9.68%
Positive predictive value	$\text{Pr}(D +)$	85.42%
Negative predictive value	$\text{Pr}(\sim D -)$	75.00%
False + rate for true ~D	$\text{Pr}(+ \sim D)$	90.32%
False - rate for true D	$\text{Pr}(- D)$	0.61%
False + rate for classified +	$\text{Pr}(\sim D +)$	14.58%
False - rate for classified -	$\text{Pr}(D -)$	25.00%

Correctly classified 85.20%

**\*6.11-Calcul du Mcapmax moyen**

. gen moyenMcapmax=participf\*Mcapmaxf

(388 missing values generated)

sum moyenMcapmax if particip==1

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
moyenMcapmax	165	5832.325	3729.329	-213.2512	12044.03

\*Le CAP maximal moyen prédit est de 5.832 FCFA

**Annexe 7: Description des variables de coûts de traitement et calcul du Coût Médico- Social (CMS)**

**\*7.1-Examen des variables relatives aux coûts**

**.a) tab coutrait if coutrait>0**

	Freq.	Percent	Cum.
25	1	0.21	0.21
50	1	0.21	0.42
75	1	0.21	0.63
100	5	1.04	1.67
125	1	0.21	1.88
150	4	0.84	2.71
175	1	0.21	2.92
200	6	1.25	4.18

---

250	3	0.63	4.80
300	8	1.67	6.47
350	1	0.21	6.68
400	4	0.84	7.52
500	31	6.47	13.99
600	9	1.88	15.87
675	1	0.21	16.08
700	3	0.63	16.70
800	5	1.04	17.75
830	1	0.21	17.95
900	2	0.42	18.37
1000	36	7.52	25.89
1200	3	0.63	26.51
1300	1	0.21	26.72
1400	2	0.42	27.14
1500	20	4.18	31.32
2000	23	4.80	36.12
2300	1	0.21	36.33
2400	1	0.21	36.53
2500	11	2.30	38.83
2680	1	0.21	39.04
2815	1	0.21	39.25
3000	18	3.76	43.01
3025	1	0.21	43.22
3250	2	0.42	43.63
3400	1	0.21	43.84

---

3500	4	0.84	44.68
4000	14	2.92	47.60
4500	6	1.25	48.85
5000	33	6.89	55.74
5600	1	0.21	55.95
5700	1	0.21	56.16
6000	14	2.92	59.08
6200	1	0.21	59.29
6500	1	0.21	59.50
7000	18	3.76	63.26
7500	3	0.63	63.88
8000	10	2.09	65.97
9000	1	0.21	66.18
9200	1	0.21	66.39
9685	1	0.21	66.60
10000	19	3.97	70.56
10500	2	0.42	70.98
11000	1	0.21	71.19
12000	12	2.51	73.70
12500	2	0.42	74.11
12800	1	0.21	74.32
13000	2	0.42	74.74
13500	2	0.42	75.16
14000	5	1.04	76.20
14450	1	0.21	76.41
15000	23	4.80	81.21

---

16000		4	0.84	82.05
17000		4	0.84	82.88
17500		1	0.21	83.09
18000		4	0.84	83.92
18400		1	0.21	84.13
19000		1	0.21	84.34
20000		13	2.71	87.06
20400		1	0.21	87.27
21000		1	0.21	87.47
22000		5	1.04	88.52
22700		1	0.21	88.73
23000		1	0.21	88.94
25000		5	1.04	89.98
27000		1	0.21	90.19
28000		2	0.42	90.61
29500		1	0.21	90.81
30000		9	1.88	92.69
31500		1	0.21	92.90
32000		1	0.21	93.11
35000		5	1.04	94.15
36000		1	0.21	94.36
37000		2	0.42	94.78
38000		1	0.21	94.99
39800		1	0.21	95.20
40000		3	0.63	95.82
44000		1	0.21	96.03

45000	2	0.42	96.45
50000	7	1.46	97.91
60000	1	0.21	98.12
70000	1	0.21	98.33
100000	2	0.42	98.75
120000	1	0.21	98.96
150000	1	0.21	99.16
200500	1	0.21	99.37
216000	1	0.21	99.58
300000	1	0.21	99.79
400000	1	0.21	100.00
-----+-----			
Total	479	100.00	

**.b)sum coutraif if coutraif>0**

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
-----+-----					
coutraif	479	11994.59	29679.59	25	400000

**c)tab empech**

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			
NON	274	53.10	53.10
OUI	242	46.90	100.00
-----+-----			
Total	516	100.00	

**.d)tab durempech**

	Freq.	Percent	Cum.
-----+-----			



1	33	13.92	13.92
2	48	20.25	34.18
3	40	16.88	51.05
4	18	7.59	58.65
5	22	9.28	67.93
6	6	2.53	70.46
7	36	15.19	85.65
8	2	0.84	86.50
9	1	0.42	86.92
10	3	1.27	88.19
14	15	6.33	94.51
15	2	0.84	95.36
16	1	0.42	95.78
21	3	1.27	97.05
30	6	2.53	99.58
240	1	0.42	100.00

-----+-----

Total | 237 100.00

**. e)sum durempech**

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
----------	-----	------	-----------	-----	-----

-----+-----

durempech	237	6.383966	16.23739	1	240
-----------	-----	----------	----------	---	-----

**. f) tab coutjrnperd if coutjrnperd>0**

	Freq.	Percent	Cum.
--	-------	---------	------

-----+-----

---

300	2	0.54	0.54
1000	10	2.69	3.23
1500	13	3.49	6.72
1900	1	0.27	6.99
2000	30	8.06	15.05
2500	12	3.23	18.28
3000	52	13.98	32.26
3500	11	2.96	35.22
4000	33	8.87	44.09
5000	71	19.09	63.17
5500	1	0.27	63.44
6000	16	4.30	67.74
7000	20	5.38	73.12
7500	1	0.27	73.39
8000	11	2.96	76.34
9000	1	0.27	76.61
10000	27	7.26	83.87
11000	1	0.27	84.14
12000	5	1.34	85.48
12500	3	0.81	86.29
15000	13	3.49	89.78
17000	1	0.27	90.05
20000	11	2.96	93.01
25000	5	1.34	94.35
30000	6	1.61	95.97
40000	4	1.08	97.04

45000	2	0.54	97.58
50000	4	1.08	98.66
70000	1	0.27	98.92
80000	1	0.27	99.19
100000	2	0.54	99.73
150000	1	0.27	100.00

-----+-----

Total	372	100.00
-------	-----	--------

**g)sum coutjrperd if coutjrperd>0**

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
----------	-----	------	-----------	-----	-----

-----+-----

coutjrperd	372	8642.473	13948.74	300	150000
------------	-----	----------	----------	-----	--------

**\*7.2-Calcul du coût médico-social**

```
gen couttraitad=6* nbradulmal*( couttrait/ durempech)
```

(463 missing values generated)

. sum couttraitad

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
----------	-----	------	-----------	-----	-----

-----+-----

couttraitad	121	11381.29	27601.61	0	216000
-------------	-----	----------	----------	---	--------

```
. gen coutempech= durempech * coutjrperd if coutjrperd>0
```

(376 missing values generated)

. sum coutempech

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
----------	-----	------	-----------	-----	-----

-----+-----

coutempech	208	56255.77	180186.5	1500	2400000
------------	-----	----------	----------	------	---------

$$\begin{aligned} \text{CMSmoyen} &= 1/3[\text{coutraitemoyen} + \text{coutempechmoyen} + \text{coutraitemoyen}] \\ &= 1/3[11.995 + 56.256 + 11.381] \\ &= 26.544 \end{aligned}$$

\*Le Coût Médico-social moyen est de 26.544 FCFA par épisode

### Annexe 8: Des simulations

```
. gen rev1=rev
```

```
. gen revsim1=rev1*1.1
```

```
. ivtobit capmois (revsim1= profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 age
agecar) age agecar fumeur sex projdemenagpoll tempshabit, nolog ll(0)
```

Tobit model with endogenous regressors      Number of obs =    584

Wald chi2(7) =    84.57

Log likelihood = -11232.277      Prob > chi2 =    0.0000

capmois	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
revsim1	.0353409	.0045491	7.77	0.000	.0264248 .044257
age	-35.74973	35.16143	-1.02	0.309	-104.6649 33.16541
agecar	.2539721	.3915639	0.65	0.517	-.5134791 1.021423
fumeur	356.1625	182.3019	1.95	0.051	-1.142734 713.4677
sex	-355.7461	150.4029	-2.37	0.018	-650.5303 -60.96181
projdemenagpoll	133.4575	122.3881	1.09	0.276	-106.4187 373.3337
tempshabit	-.6899899	4.930186	-0.14	0.889	-10.35298 8.972998
_cons	-113.2624	684.2152	-0.17	0.869	-1454.3 1227.775
/alpha	-.0242019	.0049909	-4.85	0.000	-.0339838 -.01442

```

/lns | 7.112037 .0318716 223.15 0.000 7.04957 7.174504
/lnv | 10.16628 .0293588 346.28 0.000 10.10874 10.22382
-----+-----
s | 1226.644 39.09513 1152.363 1305.713
v | 26011.17 763.6567 24556.68 27551.81
-----+-----

```

Instrumented : revsim1

Instruments : age agecar fumeur sex projdemenagpoll tempshabit profes2

profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4

Wald test of exogeneity (/alpha = 0): chi2(1) = 23.52 Prob > chi2 = 0.0000

Obs. summary: 68 left-censored observations at capmois<=0

516 uncensored observations

0 right-censored observations

. mfx compute, predict(e(0,.)) eqlist(capmois)

Marginal effects after ivtobit

y = E(capmois|capmois>0) (predict, e(0,.))  
= 1616.6232

```

-----+-----
variable | dy/dx Std. Err. z P>|z| [ 95% C.I. ] X
-----+-----
revsim1 | .0202637 .00264 7.67 0.000 .015088 .025439 67167.8
age | -20.49816 20.166 -1.02 0.309 -60.0223 19.026 37.7277
agecar | .1456224 .22454 0.65 0.517 -.294474 .585719 1530.05
fumeur* | 214.5882 115.25 1.86 0.063 -11.3069 440.483 .116438
sex* | -210.7242 92.11 -2.29 0.022 -391.256 -30.1924 .75

```

```

projde~l*| 76.84657 70.786 1.09 0.278 -61.8908 215.584 .414384
tempsh~t | -.3956261 2.82686 -0.14 0.889 -5.93617 5.14492 22.2239

```

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

```
. gen tempshabit1=tempshabit
```

```
. gen tempshabitsim1=tempshabit1+5
```

```
. ivtobit capmois (rev= profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 age agecar) age
agecar fumeur sex projdemenagpoll tempshabitsim1, nolog ll(0)
```

```
Tobit model with endogenous regressors      Number of obs = 584
```

```
Wald chi2(7) = 84.57
```

```
Log likelihood = -11176.616      Prob > chi2 = 0.0000
```

```

-----+-----
      capmois |   Coef.   Std. Err.   z   P>|z|   [95% Conf. Interval]
-----+-----
      rev |   .038875   .005004   7.77   0.000   .0290672   .0486827
      age |  -35.74973   35.16143  -1.02   0.309  -104.6649   33.16541
      agecar | .2539721   .3915639   0.65   0.517  -51.34791   1.021423
      fumeur | 356.1625   182.3019   1.95   0.051  -1.142731   713.4677
      sex | -355.7461   150.4029  -2.37   0.018  -650.5303  -60.96182
      projdemena~l | 133.4575   122.3881   1.09   0.276  -106.4187   373.3337
      tempshabi~m1 | -.6899899   4.930186  -0.14   0.889  -10.35298   8.972998
      _cons | -109.8125   684.0111  -0.16   0.872  -1450.45   1230.825
-----+-----
      /alpha | -.0266221   .0054899  -4.85   0.000  -.0373822  -.015862
      /lns | 7.112037   .0318716  223.15   0.000   7.04957   7.174504

```

```

/lnv | 10.07097 .0293588 343.03 0.000 10.01343 10.12851
-----+-----
s | 1226.644 39.09513          1152.363 1305.713
v | 23646.52 694.2334          22324.26 25047.1
-----

Instrumented : rev

Instruments : age agecar fumeur sex projdemenagpoll tempshabitsim1 profes2
              profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4
-----

Wald test of exogeneity (/alpha = 0): chi2(1) = 23.52 Prob > chi2 = 0.0000

Obs. summary:    68 left-censored observations at capmois<=0
                 516 uncensored observations
                 0 right-censored observations

. mfx compute, predict(e(0,)) eqlist(capmois)

Marginal effects after ivtobit

y = E(capmois|capmois>0) (predict, e(0,))
   = 1616.6232
-----

variable |   dy/dx   Std. Err.   z   P>|z| [ 95% C.I. ]   X
-----+-----
rev | .0222901   .0029   7.67  0.000   .016597 .027983 61061.6
age | -20.49816   20.166  -1.02  0.309  -60.0224 19.026 37.7277
agecar | .1456224   .22454   0.65  0.517  -294474 .585719 1530.05
fumeur* | 214.5882   115.25   1.86  0.063  -11.3069 440.483 .116438
sex* | -210.7242   92.11  -2.29  0.022  -391.256 -30.1924 .75
projde~l* | 76.84657   70.786   1.09  0.278  -61.8908 215.584 .414384

```

```
temps~m1 | -0.3956261 2.82686 -0.14 0.889 -5.93617 5.14492 27.2239
```

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

```
. ivtobit capmois (revsim1= profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3 niv4 agesim1
agesim1car) agesim1 agesim1car fumeur sex projdemenagpoll tempshabitsim1, nolog ll(0)
```

```
Tobit model with endogenous regressors      Number of obs =    584
```

```
Wald chi2(7) =    84.57
```

```
Log likelihood = -11232.277
```

```
Prob > chi2 =    0.0000
```

```
-----+-----
      capmois |   Coef.   Std. Err.    z    P>|z|   [95% Conf. Interval]
-----+-----
      revsim1 |  .0353409  .0045491   7.77  0.000   .0264248   .044257
      agesim1 | -38.28945  39.00787  -0.98  0.326  -114.7435  38.16457
      agesim1car | .2539721  .3915639   0.65  0.517   -51.34791  1.021423
      fumeur |  356.1625  182.3019   1.95  0.051   -1.142734  713.4677
      sex | -355.7461  150.4029  -2.37  0.018   -650.5303 -60.96181
      projdemen~1 | 133.4575  122.3881   1.09  0.276  -106.4187  373.3337
      tempshabi~m1 | -6899899  4.930186  -0.14  0.889  -10.35298  8.972998
      _cons |  75.28547  855.3802   0.09  0.930  -1601.229  1751.8
-----+-----
      /alpha | -0.0242019  .0049909  -4.85  0.000  -0.0339838  -.01442
      /lns |  7.112037  .0318716  223.15  0.000   7.04957  7.174504
      /lnv | 10.16628  .0293588  346.28  0.000  10.10874  10.22382
-----+-----
      s | 1226.644  39.09513          1152.363  1305.713
      v | 26011.17  763.6567          24556.68  27551.81
```



Instrumented : revsim1

Instruments : agesim1 agesim1 car fumeur sex projdemenagpoll tempshabitsim1

profes2 profes3 profes4 profes5 profes6 profes7 niv2 niv3

niv4

Wald test of exogeneity (/alpha = 0): chi2(1) = 23.52 Prob > chi2 = 0.0000

Obs. summary: 68 left-censored observations at capmois<=0

516 uncensored observations

0 right-censored observations

. mfx compute, predict(e(0,)) eqlist(capmois)

Marginal effects after ivtobit

y = E(capmois|capmois>0) (predict, e(0,))

= 1616.6232

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
revsim1	.0202637	.00264	7.67	0.000	.015088 .025439	67167.8
agesim1	-21.95439	22.371	-0.98	0.326	-65.8017 21.8929	42.7277
agesim~r	.1456224	.22454	0.65	0.517	-.294472 .585717	1932.32
fumeur*	214.5882	115.25	1.86	0.063	-11.3069 440.483	.116438
sex*	-210.7242	92.11	-2.29	0.022	-391.256 -30.1924	.75
projde~l*	76.84657	70.786	1.09	0.278	-61.8908 215.584	.414384
temps~m1	-.3956261	2.82686	-0.14	0.889	-5.93617 5.14492	27.2239

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

## **Annexe 9 : Classification des sources et caractéristiques de la PA**

### **Sources**

**La production énergétique thermique** qui engendre d'énormes émissions polluantes ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{SO}_2$ , etc.) dont la concentration dans l'atmosphère contribue fortement à l'effet de serre.

**L'industrie** qui à travers le processus de traitement ou de fabrication utilisé, constitue une remarquable source d'un certain nombre de polluants ( $\text{CO}_2$ , COV,  $\text{PM}_x$  etc.).

**Les transports** soit routiers, soit aériens ou maritimes ; contribuent énormément à la PA par les abondantes émissions de gaz ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , Hydrocarbures, etc.) qui ne cessent de s'accroître.

**Les activités agricoles** participent également à la PA à travers la décomposition des matières organiques et l'utilisation des engrais ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , CO, etc.).

**Les déchets** par décomposition ou par incinération, augmentent les émissions polluantes présentes dans l'air ( $\text{CH}_4$ , métaux lourds etc.).

**Les dispositifs de combustion** participent considérablement à la concentration de divers gaz qui accentuent la PA.

**Les êtres vivants** à travers la cuisine, le nettoyage, l'hygiène, la combustion du tabac, augmentent la quantité de polluants dans l'atmosphère.

Aussi, les matériaux de construction et d'aménagement, l'automobile, les sols sur lesquels sont construits les bâtiments et un mauvais traitement de l'air, sont-ils à l'origine de diverses émissions polluantes.

### **Caractéristiques**

Les différentes substances présentées dans la colonne 2 du tableau 2.1 ont des spécificités. Nous passons en revue ces spécificités.

**Le Monoxyde de carbone (CO)** est un gaz constitué de carbone et d'oxygène. C'est un produit chimique incolore et inodore. Il constitue un poison pour tous les animaux à sang chaud et pour plusieurs autres formes de vie. Il se forme lorsqu'on brûle soit du carbone, soit des substances carbonées. Le CO est un gaz un peu plus léger que l'air. Le monoxyde de carbone est l'un des principaux constituants de la PA en zone urbaine.

**Le Dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )** encore appelé le Gaz carbonique, est un gaz incolore et inodore. Il est formé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène. C'est un gaz un peu plus dense que l'air. Le  $\text{CO}_2$  est souvent obtenu par combustion ou oxydation de composés contenant du carbone (charbon, bois, pétrole etc.), ainsi que par fermentation ou décomposition d'un certain nombre de produits dans des conditions données. Les transports routiers, l'activité humaine et l'industrie sont les principales sources de la production du  $\text{CO}_2$ . Ce gaz est le principal responsable de l'effet de serre.

**L'ammoniac ( $\text{HN}_3$ )** est un gaz piquant, incolore et très soluble dans l'eau. Il est utilisé dans les industries chimiques fondamentalement dans la synthèse d'engrais, d'acide nitrique et d'explosifs. L'industrie et l'agriculture constituent les principales sources du  $\text{HN}_3$ .

**Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ )** ou anhydride sulfureux est le plus abondant des composés soufrés. Il peut se transformer par oxydation en anhydride sulfurique ( $\text{SO}_3$ ) sous l'action du rayonnement solaire,

puis, en présence d'eau, en acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ). Le  $SO_2$  provient de la combustion des charbons et des fuels, des sources mobiles et de certains procédés industriels.

**Les Oxydes d'azote ( $NO_x$ )** les plus importants dans la PA sont l'oxyde nitrique ou monoxyde d'azote (NO), le peroxyde d'azote ( $NO_2$ ) et le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ). Généralement on raisonne sur leur somme exprimée en équivalent  $NO_2$  caractérisé par le terme  $NO_x$ .

**Les Composés Organiques Volatils (COV)** constitués des hydrocarbures, des solvants etc., proviennent notamment des sources mobiles et de procédés industriels tels que le dégraissage des métaux, l'imprimerie, le raffinage du pétrole, l'utilisation de peintures et de vernis etc. Ils sont différents des hydrocarbures par le fait qu'ils sont composés, en plus des atomes de carbone et d'hydrogène, de divers autres atomes (oxygène, azote etc.). Pour ce faire l'on les qualifie de composés organiques volatils non méthaniques (COV NM).

Les autres polluants à savoir : les poussières, les métaux lourds, le plomb, l'ozone, l'acide chlorhydrique, les dioxines et furanes sont présents dans l'atmosphère à des concentrations variées. D'après le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) établi en 1999 en France, la présence de ces substances, dépend en grande partie des activités de l'homme, des industries et de quelques facteurs naturels.

## Table des Matières

Dédicace .....	i
Remerciements .....	ii
Sigles et Acronymes .....	iii
Liste des tableaux .....	iv
Liste des graphiques .....	v
Liste des schémas .....	vi
Sommaire .....	vii
Résumé .....	viii
Abstract .....	ix
Introduction générale .....	1

### PREMIÈRE PARTIE

#### **Pollution atmosphérique : Cadres théorique, conceptuel et revue théorique**

<b>Chapitre 1 : Théorie des externalités .....</b>	<b>7</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Externalités et problèmes de coûts .....</b>	<b>7</b>
1.1.1 La notion d'externalité .....	7
1.1.1.1 Une catégorisation des externalités .....	8
1.1.1.2 L'externalité pécuniaire et externalité technologique .....	9
1.1.1.3 Les externalités selon le contexte économique .....	10
1.1.1.4 L'externalité comme faillite du marché .....	11
1.1.1.5 Les externalités pertinentes et externalités non pertinentes .....	11
1.1.1.6 L'externalité absolue et externalité relative .....	11
1.1.1.7 L'effet involontaire et incontrôlable de l'externalité .....	13



2.2.1.1 Le modèle d'Alberini et al (1997) .....	42
2.2.1.2 Le modèle de Curie et al (2009) .....	44
2.2.1.3 Le modèle de Cropper (1981) .....	45
2.2.1.4 Le modèle de Viscusi et Gayer (2005) .....	48
2.2.1.5 Modèle de Gerking et Stanley (1986) .....	49
2.2.2 Revue théorique relative à la mortalité due à la pollution de l'air .....	50
2.2.2.1 Modèle de Chanel et Luchini (2008) .....	50
2.2.2.2 Modèle d'Alberini et al. (2004) .....	53
2.2.2.3 Modèle d'Armantier et Treich (2004) .....	53
<b>Conclusion .....</b>	<b>55</b>

## **DEUXIÈME PARTIE**

### **Coûts de morbidité et de mortalité dus à la pollution atmosphérique à Cotonou**

<b>Chapitre 3 : Coûts de morbidité due à la pollution atmosphérique à Cotonou .....</b>	<b>58</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de morbidité liée à la pollution de l'air .....</b>	<b>58</b>
3.1.1 Les méthodes d'évaluation des coûts sanitaires liés à la pollution de l'air .....	58
3.1.1.1 Les méthodes indirectes d'évaluation .....	59
3.1.1.2 La méthode directe d'évaluation .....	62
3.1.2 Revue empirique sur les coûts de morbidité due à la pollution de l'air .....	63
<b>3.2 Evaluation des Coûts de morbidité due à la pollution de l'air à Cotonou .....</b>	<b>66</b>
3.2.1 L'évaluation du coût de la souffrance liée à la maladie .....	66
3.2.1.1 L'échantillonnage .....	66
3.2.1.2 La méthodologie du questionnaire d'enquête .....	68
3.2.1.3 L'administration du questionnaire et la base de données .....	69
3.2.1.4 La description des variables .....	71
3.2.1.5 Les statistiques descriptives .....	73
3.2.1.5.1 Les caractéristiques socioéconomiques des chefs de ménages .....	73
3.2.1.5.2 Les caractéristiques des autres variables .....	74
3.2.1.5.3 Le traitement des CAP nuls .....	75
3.2.1.6 L'estimation du CAP dans le cas de la morbidité .....	76
3.2.1.6.1 La présentation du modèle Tobit censuré .....	76
3.2.1.6.2 Problème et test d'endogénéité .....	77

3.2.1.6.3 Les déterminants du CAP et dérivation du CAP moyen .....	77
3.2.1.6.4 Estimation par le Tobit généralisé .....	80
3.2.2 L'évaluation du coût médico-social .....	85
3.2.2.1 Les statistiques descriptives sur quelques variables de coûts .....	86
3.2.2.2 Le calcul du coût médico-social .....	86
<b>Conclusion .....</b>	<b>88</b>
<b>Chapitre 4 : Coûts de mortalité liée à la pollution de l'air à Cotonou .....</b>	<b>89</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1 Revue méthodologique et empirique sur les coûts de mortalité .....</b>	<b>89</b>
4.1.1 Les travaux basés sur la Méthode d'Evaluation Contingente .....	89
4.1.2 Les études portant sur l'usage des fonctions dose-réponse .....	94
<b>4.2 Mesure des coûts de mortalité liée à la Pollution Atmosphérique pour Cotonou ....</b>	<b>95</b>
4.2.1 La méthodologie du questionnaire contingent .....	96
4.2.2 La description de quelques variables .....	97
4.2.3 Les statistiques descriptives des variables relatives à l'évaluation de coût de mortalité .....	98
4.2.4 L'estimation du CAP dans le cadre des effets de la pollution sur la mortalité .....	101
4.2.4.1 Le problème de sélection d'échantillon et le modèle économétrique .....	102
4.2.4.2 Les déterminants du CAP maximal pour une réduction du taux de décès ....	103
4.2.4.3 Prédiction du CAP maximal moyen pour une réduction du taux de mortalité .	105
4.2.5 Les critiques du questionnaire global .....	107
<b>Conclusion .....</b>	<b>108</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>109</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>113</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>125</b>