



**Thèse  
Présentée par  
THIOMBIANO,  
Noël**

**UNIVERSITE DE  
OUAGADOUGOU**

**Analyse économique de la pollution  
sonore des avions et des centrales  
thermiques: cas de la ville de  
Ouagadougou**

---

**2008**



BURKINA FASO

CENTRE D'ETUDE DE DOCUMENTATION  
ET DE RECHERCHE ECONOMIQUES ET  
SOCIALES (CEDRES)

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE  
EN SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION  
(UFR / SEG)

LABORATOIRE D'ECONOMIE DE  
L'ENVIRONNEMENT ET DE  
SOCIOECONOMETRIE (LEESE)



# THESE DE DOCTORAT UNIQUE

*Option : Economie de l'Environnement*

## *Analyse économique de la pollution sonore des avions et des centrales thermiques: cas de la ville de Ouagadougou*

### Membres du Jury

*Présentée et soutenue  
publiquement par :*

**Noël THIOMBIANO**

**Professeur Claude NJOMGANG, Rapporteur, Président du  
Jury**

Université Yaoundé II- Soa

**Professeur Taladidia THIOMBIANO, Directeur de Thèse**  
Université de Ouagadougou

**Professeur Kimseyinga SAVADOGO, Rapporteur**  
Université de Ouagadougou

**Professeur Bernadette KAMGNIA/DIA, Rapporteur**  
Université Yaoundé II- Soa

9 Décembre 2008

16.03.04  
THI  
14508



2 AOUT 2009

16.03.04  
THI  
14508

BURKINA FASO

CENTRE D'ETUDE DE DOCUMENTATION  
ET DE RECHERCHE ECONOMIQUES ET  
SOCIALES (CEDRES)

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE  
EN SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION  
(UFR / SEG)

LABORATOIRE D'ECONOMIE DE  
L'ENVIRONNEMENT ET DE  
SOCIOECONOMETRIE (LEESE)



# THESE DE DOCTORAT UNIQUE

*Option : Economie de l'Environnement*

**Analyse économique de la  
pollution sonore des avions et  
des centrales thermiques: cas  
de la ville de Ouagadougou**

## Membres du Jury

*Présentée et soutenue  
publiquement par :*

**Noël THIOMBIANO**

**Professeur Claude NJOMGANG, Rapporteur, Président du  
Jury**

Université Yaoundé II- Soa

**Professeur Taladidia THIOMBIANO, Directeur de Thèse**  
Université de Ouagadougou

**Professeur Kimseyinga SAVADOGO, Rapporteur**  
Université de Ouagadougou

**Professeur Bernadette KAMGNIA/DIA, Rapporteur**  
Université Yaoundé II- Soa

9 Décembre 2008

**Cette thèse a été réalisée grâce au financement de l'Etat burkinabè par l'intermédiaire de la bourse nationale et aussi grâce au Conseil pour le Développement de la Recherche en Science Sociale en Afrique (CODESRIA) à travers son "Programmes de Petites Subventions pour la Rédaction des Mémoires et des Thèses".**



*L'Université de Ouagadougou n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse : ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.*

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

*Dédicace*

---

*A mon défunt père,*

*A ma mère,*

*A ma femme et à mon fils,*

*A mes frères et soeurs*

*qui m'ont soutenu chacun à sa manière dans l'élaboration de ce document.*

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

*« Il n'y a pas deux types d'analyse économique, l'une pour les pays riches, l'autre pour les pays pauvres. Il n'y en a qu'une : la bonne ».*

A. Martens, *l'Actualité économique* 74 (3) septembre 1998, p. 306

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE



---

## Remerciements

---

La rédaction de cette thèse est le fruit d'incalculables contributions matérielles, financières, académiques et morales des institutions et d'un certain nombre de personnes physiques à qui nous voudrions manifester "*abimo pectore*" notre profonde gratitude.

Nos premiers mots vont à l'endroit de notre Directeur de thèse, le Professeur Taladidia Thiombiano. Il nous a inspiré ce centre d'intérêt de recherche depuis notre mémoire de DEA. Malgré ses multiples occupations, d'abord en tant que Directeur du Programme de Troisième Cycle Interuniversitaire (PTCI) et ensuite en tant que Directeur du Centre d'Etude de Documentation et de Recherche Economiques et Sociales, il a dirigé ce travail avec clairvoyance et rigueur scientifiques. En somme, nous restons redevables au Professeur Thiombiano et les mots que nous mentionnons ici ne suffisent pas pour traduire le sentiment de satisfaction que nous ressentons. Du reste qu'il nous soit permis de lui dire qu'au delà des attributions académiques, il a été pour nous un père scientifique. La pertinence de ses remarques a été déterminante pour la qualité de ce travail. En un mot, il nous a fait profiter de sa riche et talentueuse expérience de chercheur.

Nos remerciements aussi au PTCI, à ses Directeurs (anciens et actuel), à ses organes statutaires, à ses bailleurs de fonds et à la Conférence des Institutions d'Enseignement et de Recherches Economique et de Gestion en Afrique (CIEREA). C'est en effet le PTCI qui nous a permis d'entreprendre les études doctorales par leur programme de DEA. Nous remercions particulièrement Monsieur Papa Ciré Dimé pour nous avoir permis de financer nos enquêtes terrains en nous confiant les tâches d'assistant de directeur lors du Campus Commun des Cours à Options session de 2006.

Nous adressons nos gratitudes d'une part, aux Professeurs Savadogo Kimseyinga et Soulama Souleymane successivement responsable national du Programme de Troisième Cycle Interuniversitaire, et d'autre part, au Docteur Claude Wetta Directeur de l'UFR-SEG. Votre institution nous a permis de réaliser nos études universitaires du premier

jusqu'au troisième cycles. A travers vous nous remercions l'ensemble du personnel enseignant de l'UFR-SEG pour leur contribution à notre formation.

Nous traduisons aussi nos sincères reconnaissances à la Directrice du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo et surtout à l'équipe ORL du Professeur Kampadilemba Ouôba pour avoir conduit les examens audiométriques qui ont servi à tester l'ampleur de la surdité due à la pollution sonore. Nos remerciements vont tout droit à Moussa Manly qui a été l'artisan de ces examens.

Nous voulons également traduire nos sincères remerciements à l'équipe d'enquêteurs (Alexandre Zombré, Alfred Thiombiano, Ouinnkouni Seydou Sebgo) qui se sont donnés franchement pour nous permettre de disposer de données de bonne qualité. Avec eux, nous voudrions associer tous ces hommes et femmes qui ont souvent interrompu leurs travaux ou leurs repas pour répondre aux questions des enquêteurs et subir les examens audiométriques. Leur dévouement a contribué à la réalisation de cette thèse.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux professeurs Bernadette Dia Kamgnia, Raoul Mamy Ravelomanana, Brahim Brahamia et Claude Njomgang, ainsi qu'au Docteur Gountiéni Damien Lankoandé pour nous avoir lu à une étape donnée de notre thèse. Dans le même registre, nous remercions le professeur Barthelemy Biao, les Docteurs Kadidia Sanon, Boukary Ouédraogo et Abdoulaye Senghor, ainsi que tous les membres du Laboratoire d'Economie de l'Environnement et de Socioéconométrie pour leurs remarques et suggestions lors des séminaires doctoraux.

Finalement, nous voudrions traduire nos sincères remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté une aide quelconque dans la conduite de ce travail.

Malgré les efforts des uns et des autres pour améliorer la qualité de ce travail, il se peut que des insuffisances demeurent. Si elles venaient à être décelées, nous en portons l'entière responsabilité.

## Table des matières

DEDICACE.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
REMERCIEMENTS.....	V
TABLE DES MATIERES.....	VII
TABLE DE TABLEAUX.....	X
TABLE DE GRAPHIQUES.....	XI
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES.....	XII
RESUME.....	XIII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : IMPACT DE LA POLLUTION ACOUSTIQUE DES AVIONS ET DES CENTRALES THERMIQUES ET THEORIES ECONOMIQUES.....	9
I. MISE EN EVIDENCE DES EFFETS DE LA POLLUTION SONORE SUR LE BIEN ETRE DE LA ... POPULATION.....	10
I.1. EFFETS DES MOUVEMENTS DES AVIONS ET DES ACTIVITES DES CENTRALES..... THERMIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT.....	10
I.2. EFFETS SPECIFIQUES LIES AU BRUIT.....	11
I.2.1. <i>Effets du bruit sur la santé</i> .....	11
I.2.2. <i>Effets sociaux du bruit : désagréments et inégalités sociales</i> .....	15
I.2.3. <i>Conséquences économiques du bruit</i> .....	17
II. METHODES D'EVALUATION DES ACTIFS ENVIRONNEMENTAUX.....	20
II.1. TYPOLOGIE DES METHODES D'EVALUATION DES ACTIFS NATURELS.....	20
II.2. CHOIX DE LA METHODE D'EVALUATION.....	22
III. THEORIE DU CONSOMMATEUR ET SON EXTENSION.....	24
III.1. MODELISATION « ATHEORIQUE » DES PREFERENCES DU CONSOMMATEUR.....	24
III.2. THEORIE DE BASE DU CONSOMMATEUR.....	25
III.3. METHODE DES PRIX HEDONISTES : THEORIE DE LANCASTER VS THEORIE DE..... ROSEN.....	26
III.3.1. <i>Présentation des deux théories</i> .....	26
III.3.2. <i>Implication économique des hypothèses</i> .....	28
III.4. PROBLEME SANITAIRE DE LA POLLUTION EN ECONOMIE.....	31
IV. SOLUTIONS THEORIQUES AUX PROBLEMES ENVIRONNEMENTAUX.....	34
IV.1. PRINCIPE DE L'INTERNALISATION DES EXTERNALITES.....	35
IV.2. TRADITION PIGOUVIENNE.....	36
IV.2.1. <i>Effet externe et déséconomie externe</i> .....	37
IV.2.2. <i>Principe de base des politiques anti-pollution: le principe         du pollueur payeur</i> .....	40
IV.3. THEOREME DE COASE.....	41
IV.3.1. <i>Notion de coût de transaction</i> .....	41
IV.3.2. <i>Mise en cause de la tradition pigouvienne</i> .....	42
IV.3.3. <i>Théorème de Coase et droits de propriété</i> .....	43
IV.4. AUTRES MECANISMES DE REGULATION.....	44
CONCLUSION.....	47
CHAPITRE II: METHODES DE RECHERCHE : FONDEMENTS DE LA STRATEGIE DE.....	48
RECHERCHE, MODELES ET METHODES D'ANALYSE.....	48
I. FONDEMENTS DE LA STRATEGIE DE RECHERCHE.....	48



I.1. METHODES D'ANALYSE .....	48
I.1.1. Statistique descriptive .....	49
I.1.2. Analyse factorielle.....	50
I.2. MODELES D'ANALYSE.....	50
I.2.1. Méthode des prix hédonistes .....	50
I.2.2. Théorie du capital humain.....	60
I.2.3. Modèle probit multinomial.....	65
II. CADRE OPERATOIRE.....	68
II.1. VALORISATION DE LA POLLUTION SONORE DES AVIONS ET DE LA CENTRALE THERMIQUE PAR LA METHODE DES PRIX HEDONISTES .....	68
II.1.1. Estimation de la fonction de prix hédoniste .....	69
II.1.2. Evaluation du consentement marginal à payer.....	69
II.1.3. Construction de la fonction de demande inverse .....	70
II.1.4. Estimation des bénéfices liés à une amélioration de la qualité..... de l'environnement.....	70
II.2. MODELE PROBABILISTE D'EXPLICATION DE LA MORBIDITE .....	73
II.3. MODELE PROBABILISTE D'EXPLICATION DE LA GENE .....	75
III. METHODES D'ANALYSE - PROBLEMES ET TESTS ECONOMETRIQUES.....	75
III.1. PROBLEMES LIES AU MODELE DES PRIX HEDONISTES.....	76
III.2. PROBLEMES LIES AU MODELE PROBIT ORDONNE .....	79
III.2.1. Incompatibilité des MCO et des MLG .....	79
III.2.2. Problème d'identification.....	80
III.3. DIFFERENTS TESTS ECONOMETRIQUES .....	80
III.3.1. Test de normalité de Jarque et Bera.....	80
III.3.2. Test d'adéquation d'ensemble du modèle économétrique .....	81
CONCLUSION.....	82
CHAPITRE III : ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNEES .....	83
I. STRATEGIES D'ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNEES .....	83
I.1. DONNEES .....	83
I.1.1. Nature des données .....	83
I.1.2. Mesures des statistiques sonores.....	84
I.1.3. Collecte des données primaires.....	87
I.1.4. Mesure audiométrique.....	90
I.2. ECHANTILLONNAGE .....	91
I.2.1. Choix des zones d'enquête .....	91
I.2.2. Choix des unités d'enquête.....	93
II. ANALYSE DESCRIPTIVE SIMPLE DES DONNEES.....	95
II.1. DESSERTÉ DE LA PLATE FORME AEROPORTUAIRE DE OUAGADOUGOU.....	95
II.1.1. Type d'avions et plage horaire de desserte.....	95
II.1.2. Evolution du trafic aérien.....	96
II.2. DONNEES GENERALES SUR LES MENAGES .....	98
II.2.1. Données démographiques.....	98
II.2.2. Statut professionnel et niveau d'éducation du chef de ménage.....	99
II.3. DONNEES RELATIVES AUX CARACTERISTIQUES HABITABLES.....	101
II.3.1. Variables quantitatives .....	101
II.3.2. Variables qualitatives .....	102
II.4. CARACTERISTIQUES DE PROXIMITE.....	104
II.5. DONNEES RELATIVES A LA GENE DUE AU BRUIT .....	105
II.6. PROBLEMES INFORMATIONNELS OU INSTITUTIONNELS .....	107
II.6.1. Action de l'Etat en matière de lutte contre la pollution acoustique.....	107
II.6.2. Problèmes d'hypertension et d'audition au sein de l'échantillon d'étude.....	110
II.6.3. Bilan des résultats du test audiométrique .....	112
III. ANALYSE DE CORRELATION.....	115

III.1. ANALYSE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA GENE DUE AU BRUIT.....	116
III.2. ANALYSE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA VALEUR DES PROPRIETES .....	118
CONCLUSION.....	121
CHAPITRE IV : ANALYSE ECONOMETRIQUE ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	122
I. ANALYSE DU MODELE DES PRIX HEDONISTES .....	122
I.1. EFFET DU BRUIT ET DES AUTRES CARACTERISTIQUES SUR LA VALEUR DES PROPRIETES.....	122
I.1.1. <i>Appréciation de la spécification</i> .....	123
I.1.2. <i>Significativité individuelle des paramètres</i> .....	127
I.2. IMPLICATION ECONOMIQUE DES RESULTATS .....	131
I.2.1 <i>Evaluation des CAP marginaux</i> .....	131
I.2.2. <i>Estimation de la fonction de demande inverse</i> .....	138
I.2.3. <i>Estimation des bénéfices liés à une amélioration de la qualité</i> .....	142
<i>de l'environnement sonore</i> .....	142
II. FACTEURS DETERMINANTS DE LA SURDITE AUDITIVE .....	146
III. VARIABLES EXPLICATIVES DE LA GENE .....	150
III.1. ESTIMATION DU MODELE PROBIT MULTINOMIAL .....	150
III.1.1. <i>Pertinence du modèle</i> .....	152
III.1.2. <i>Effets marginaux</i> .....	154
III .2. INTERPRETATION DES RESULTATS .....	154
CONCLUSION.....	158
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	164
ANNEXES.....	174

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## Table de tableaux

Tableau 1 : Résultats des applications de la méthode des prix hédoniques au bruit des.....	18
Tableau 2 : Niveau de bruit résiduel dans les zones enquêtées en dB(A).....	85
Tableau 3 : Répartition des ménages sondés dans les différentes strates.....	94
Tableau 4 : Répartition des avions desservant la plate forme aéroportuaire (en %) selon la.....	95
Tableau 5 : Répartition de la population en % selon le sexe .....	98
Tableau 6 : Répartition des chefs des ménages selon le niveau d'éducation (en%).....	99
Tableau 7 : Distribution des chefs de ménage selon l'âge par zone de pollution (en %).....	101
Tableau 8 : Statistiques descriptives des caractéristiques habitables quantitatives.....	102
Tableau 9 : Statistiques sur les caractéristiques de proximité en km du lieu de résidence .....	104
Tableau 10. : Volonté de déménager : les raisons évoquées (en %) .....	105
Tableau 11 : Motifs d'habiter le site (en %) .....	106
Tableau 12 : Action de gestion de la pollution par l'Etat (en %)?.....	109
Tableau 13: Participation à une œuvre communautaire .....	110
Tableau 14 : Montant des contributions par les riverains .....	110
Tableau 15 : Fréquences de problèmes d'audition et d'hypertension (en %) .....	110
Tableau 16 : Résultats comparés de problèmes auditifs en % .....	112
Tableau 17 : Résultats par graduation de surdité .....	112
Tableau 18 : Test de Khi-Deux entre le problème d'audition et les variables exogènes .....	114
Tableau 19: Coûts directs liés au problème d'audition en F CFA .....	115
Tableau 20 : Test d'indépendance entre les variables explicatives et la gêne .....	116
Tableau 21 : Test de dépendance entre les variables qualitatives explicatives et la valeur des maisons .....	119
Tableau 22 : Matrice de corrélation entre les variables quantitatives du modèle des prix.....	120
Tableau 23 : Dictionnaire des variables pour l'estimation des prix hédonistes .....	123
Tableau 24 : Estimation du modèle de prix hédoniste .....	124
Tableau 25 : Test d'h�t�roscedasticit� du multiplicateur de Lagrange au seuil de 5%.....	125
Tableau 26 : Tests d'effets conjoints des différentes caractéristiques .....	127
Tableau 27 : Effets marginaux des variables significatives .....	132
Tableau 28 : Prix hédoniques des caractéristiques en F CFA .....	133
Tableau 29 : Liste des variables du modèle .....	138
Tableau 30 : Estimation de la fonction de demande inverse.....	139
Tableau 31 : Bénéfice journalier de réduction de la pollution par groupe et selon le temps .....	144
Tableau 32 : Résultats d'estimation du modèle de Poisson et de celui du NegBin .....	147
Tableau 33 : Estimation du modèle probit multinomial ordonné pour les 2 sites.....	151
Tableau 34 : Estimation du modèle final probit multinomial ordonné pour les 2 sites .....	152
Tableau 35 : Table de prédiction du modèle probit ordonné pour la zone de l'Aéroport.....	153
Tableau 36 : Effets marginaux des variables du modèle probit ordonné .....	154



---

## Table de Graphiques

---

Graphique 1 : Courbes d'utilité individuelles et courbe d'utilité collective .....	21
Graphique 2 : Synthèse des différentes méthodes d'évaluation économique des dommages...	22
Graphique 3 : Pollution optimale .....	35
Graphique 4 : Zones d'enquête sur la pollution sonore .....	93
Graphique 5 : Evolution du trafic aérien.....	97
Graphique 6 : Répartition des chefs de ménage selon le statut professionnel (en %).....	100
Graphique 7 : Données de caractéristiques habitables qualitatives.....	103
Graphique 8 : Solutions envisageables (en %).....	108

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## Liste des sigles et acronymes

ADP	: Assemblée des Députés du Peuple
AFNOR	: Association Française de Normalisation
APE	: Agence de Protection Environnementale
ASECNA	: Agence de Sécurité de la Navigation Aérienne
CAP	: Consentement A Payer
CAR	: Consentement A Recevoir
CIEREA	: Conférence des Institutions d'Enseignement et de Recherche Economiques et de gestion en Afrique
CILSS	: Comité Inter états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CO	: Monoxyde de Carbone
CO <sub>2</sub>	: Dioxyde de Carbone
dB(A)	: Unité de mesure du bruit
DEA	: Diplôme d'Etude Approfondie
DGACM	: Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
FESPACO	: Festival Panafricain du Cinéma et de la télévision de Ouagadougou
HC	: Hydrocarbures
INSD	: Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie
IS	: Indice de Santé
ISO	: Organisation Internationale de Standardisation
MCME	: Ministère des Carrières, de Mine et l'Energie
MCO	: Moindres Carrés Ordinaires
MEBA	: Ministère de l'Enseignement de Base et l'Alphabétisation
MEC	: Méthode d'Evaluation Contingente
MLG	: Modèle Linéaire Général
MPH	: Méthode des Prix Hédonistes
NDI	: Noise Depreciation Index (Taux de Dépréciation par unité de Bruit)
NO <sub>2</sub>	: oxyde d'azote
OACI	: Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OCDE	: Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONEA	: Office National de l'Eau et l'Assainissement
ORL	: Oto-rhino-laryngologie
OST	: Office de la Santé des Travailleurs
PPP	: Principe du Pollueur Payeur
PNGT 2	: Deuxième Programme National de Gestion des Terroirs
PTAC	: Poids Total Autorisé en Charge
PTCI	: Programme de Troisième Cycle Interuniversitaire
RESEN	: Rapport sur l'Etat du Système Educatif National
SIAO	: Salon International de l'Artisanat de Ouagadougou
SO <sub>2</sub>	: dioxyde de soufre
SONABEL	: Société Nationale d'Electricité du Burkina
TPAM	: Temps Perdu par les Actifs Malades
TPACM	: Temps Perdu par les Actifs accompagnants les Malades
UEMOA	: Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UFR-SEG	: Unité de Formation et de Recherche en Sciences Economiques et de Gestion
ZACA	: Zone d'Activités Commerciales et Administratives

---

## Résumé

---

*Le problème de la pollution sonore a fait l'objet de recherches déjà nombreuses en pays industrialisés, mais la connaissance de ses facteurs explicatifs et de son impact sur les populations riveraines d'un aéroport ou d'une centrale thermique dans le Tiers Monde reste modeste. L'objectif principal de cette thèse est de cerner l'impact du bruit des avions et des centrales thermiques de la SONABEL sur le bien-être de la collectivité et des individus d'une part, par l'identification des facteurs socio-économiques qui peuvent influencer le niveau de gêne ressentie par les ménages riverains; et d'autre part, par l'évaluation du coût social de cette pollution. Pour ce faire, l'étude a utilisé la Socioéconométrie, une démarche systémique qui allie la transdisciplinarité et les dimensions temporelles et spatiales. Elle combine l'analyse statistique et l'analyse économétrique. Cette dernière analyse se fonde sur trois modèles : le modèle de prix hédonistes pour l'estimation de la valeur vénale des logements et partant du Consentement A Payer (CAP) des enquêtés, le modèle de Poisson pour la détermination des facteurs explicatifs du problème auditif des riverains et le modèle probit multinomial ordonné pour la détermination des facteurs explicatifs de la gêne due au bruit. L'étude a eu recours à d'autres sciences telles que l'acoustique et la médecine. La première a été utile pour la détermination des niveaux sonores et la deuxième à travers l'audiométrie pour déterminer l'ampleur du problème de la perte auditive. L'analyse a permis de noter un impact négatif du bruit sur la valeur des propriétés immobilières des riverains des zones polluées. L'indice de dépréciation de leurs valeurs par unité de décibel supplémentaire se situe dans le même ordre de grandeur (0,27% pour l'Aéroport et 0,56% pour la SONABEL) que ceux trouvés par des études similaires. Aussi, les riverains des sources polluantes sont-ils prêts à payer entre 17% et 42% du montant du seuil de pauvreté.*

**Mots clés :** *pollution sonore, coût social, gêne, surdité, prix hédoniste, audiométrie, Ouagadougou*



## Introduction générale

---

La présente recherche se propose de cerner l'impact du bruit des avions et des centrales thermiques de la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) sur le bien-être de la collectivité en général et des individus en particulier par une analyse de la demande de la qualité de l'environnement des populations riveraines de l'aéroport de Ouagadougou et de celles des centrales thermiques.

En dépit de la réduction spectaculaire au cours de ces dernières années du niveau de bruit émis par les moteurs en général, et ceux des avions en particulier, le bruit des avions et des centrales thermiques demeure une politique publique cruciale (Brueckner et Girvin, 2006).

La capacité des aéroports est de plus en plus un véritable goulot d'étranglement pour le développement de l'aviation. Un tel développement est favorisé par la transition de l'économie des industries vers l'économie des services (Bell et Feitelson, 1991) et de cette manière, par l'accroissement de l'importance de la macroéconomie (Aschauer, 1989). Cependant, cette expansion est source de dissension à cause de la pollution sonore qu'elle génère (Brueckner et Girvin, op.cit. ; Gesualdi, 1987). En effet, la plupart des problèmes fonciers acrimonieux et prolongés concernent les projets d'extension des aéroports et d'implantation des industries au voisinage des zones d'habitation. Tandis que l'expansion requiert la démolition de plusieurs centaines de logements, il réoriente aussi les lignes aériennes si bien qu'une nouvelle frange de la population est soumise à la pollution sonore (Mc Millen, 2004).

Selon des organismes internationaux tels que l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) et l'Agence de Protection Environnementale (APE) et certains chercheurs (Dejoy 1986, Campo et al.1989 ; Floru et al. 1987 et 1994 ; Looten 1994 ; Bellenfont 1998 ; Hygge et al.2002 ; Lercher et al. 2002 ; Matheson et al.2003 ; Kiesling et al. 2004), le bruit constitue un problème de santé publique, en particulier dans les situations d'exposition à des niveaux de bruit élevés. Il agit sur l'homme de plusieurs façons : il affecte le bien-être physique et psychique et plus

globalement la santé; il perturbe les activités, la communication parlée. Environ 80 millions de personnes dans l'Union Européenne (22%) sont exposées de jour à des niveaux sonores dépassant 65 dB(A), le seuil considéré dans beaucoup de pays comme inacceptable. Près de 8% de la population de l'Union Européenne est exposée au cours de la journée à des niveaux de bruit dépassant 70 dB(A), niveau considéré comme seuil des points noirs bruit dans plusieurs pays européens tels que la France et la Suisse. Enfin, près de 170 millions d'européens (45%) vivent dans les zones grises, c'est-à-dire des zones qui procurent un inconfort acoustique aux habitants. La nuit, plus de 100 millions d'européens (30%) sont exposés à des niveaux dépassant 55 dB(A) (Lambert, 2000). Au Burkina Faso, le niveau d'exposition ambiant diurne des populations riveraines de l'aéroport de Ouagadougou est de 55 dB(A) (Thiombiano 2003).

Au-delà des effets sur la santé et le bien-être, le bruit des transports en général et celui du transport aérien et des industries en particulier a un coût social pour la collectivité. Il serait compris entre 13 et 38 milliards d'euros par an dans l'Union Européenne (Lambert, 2000). D'autres études l'estiment entre 400 et 900 euros par atterrissage à l'aéroport de Schiphol à Amsterdam après une analyse de sensibilité (Morrell et Lu, 2000). Le bruit affecte négativement la valeur des logements et des terrains. Des études estiment cette incidence négative entre 0.5% et 0.6% par dB(A) aux Etats Unis et 0.8% à 0.9% au Canada pour des niveaux de bruit inférieur ou égal à 75dB(A) (Nelson 1980 et 2004 ; Johnson et Button 1997 ; Schipper et al. 1998).

En ce qui concerne la pollution des industries, les chercheurs se sont penchés sur le coût des pollutions de l'air (Abdoulaye ; 1997 et 2001 ; Cormier et al 1998; Tazi et al.2001), celui des rejets des substances chimiques dans les cours d'eau situés en aval ou sur les instruments de réglementation (Börkey et al. 2002). La présente étude se situe dans le cadre de cette problématique et vise à estimer les coûts externes dus aux activités industrielles et de transport.

Le problème est si préoccupant qu'il a été abordé par plusieurs chercheurs (Nelson op.cit., Morrell op.cit.) et a fait l'objet d'un texte réglementaire au niveau de

l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) et de l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO).

Ainsi, deux méthodes possibles basées sur le marché, sont utilisées pour illustrer de tels usages. La première est l'établissement des prix des terres ou du loyer en fonction du niveau de bruit de la zone (Cell, 1982). La deuxième approche suggère que des droits de propriété sur le bruit soient définis (Feitelson, 1989a, b). Pour illustrer ces approches, il est nécessaire d'estimer la perte d'utilité due à l'exposition au bruit des avions et des centrales thermiques.

Au total 60 aéroports internationaux, répartis sur 16 pays dans le monde, appliquent pour cause de nuisances sonores des taxes au décollage, des modulations de redevances d'atterrissage, voire des amendes pour irrespect des horaires et trajectoires...aux vols commerciaux (Morrell et Lu, 2000). Cependant, aucune de ces taxes n'est établie par mesure de la nuisance actuelle causée réellement par le bruit des avions. De plus, malgré les réglementations adoptées depuis plus de 20 ans, la qualité de l'environnement sonore ne s'est pas vraiment améliorée, excepté dans certaines situations de forte exposition pour lesquelles des mesures correctrices ont été prises notamment par la résorption des points noirs (Lambert, 2000). Ainsi, à l'aube du 21<sup>e</sup> siècle, le bruit des transports et des industries demeure un réel problème environnemental.

Toutes les études qui ont été faites sur le sujet se sont déroulées notamment en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Elles sont presque inexistantes ou à la limite, embryonnaires dans le Tiers Monde (Thuillier, 1994). En ce qui concerne l'aéroport de Ouagadougou, aucune étude de cette nature n'a été réalisée à notre connaissance. Pourtant, les aéroports de l'espace ASECNA sont dans leur quasi-totalité situés au centre des villes. Ceux des pays côtiers comme Abidjan et Dakar ont leurs lignes aériennes orientées vers la mer. La situation géographique de celui de Ouagadougou est telle que les différentes lignes aériennes traversent les habitations. Par ailleurs, le trafic aérien annuel s'est quadruplé en 30 ans ; il est passé de 2 492 vols en 1974 à 10 487 vols en 2003 (DGACM, 2006). Quant aux centrales électriques de la SONABEL, elles sont situées également dans des zones d'habitation.

L'étude se situe dans un cadre où les aspects géographiques, climatiques et socio-économiques s'y prêtent. Sur une superficie de 520 km<sup>2</sup>, la commune de Ouagadougou comprend 5 arrondissements en zone urbaine et 17 villages. Sa population est estimée en 2006 à 1 475 223 habitants dont 93% vivent en zone urbaine. Elle est en majorité jeune - 90,4% de cette population ont moins de 45 ans - et 27,1% ont un revenu annuel en deçà de 106 249F CFA contre 46,4% au niveau national pour un seuil de pauvreté réactualisé de 82 672F CFA en 2003 (Commune de Ouagadougou ; INSD, 2006 et 2003). Ouagadougou de par sa situation de ville carrefour et sa vocation géopolitique (siège de plusieurs organismes panafricains et régionaux : UEMOA, CILSS, Liptago-Gourma...), et culturelle (tenue biennale du FESPACO, du SIAO) est un important centre de desserte par des compagnies aériennes avec occasionnellement des pointes pendant ces rencontres. Cet état de fait traduit un accroissement de la pollution sonore émise par les aéronefs. Aussi, la vocation agricole qu'a le pays, greffé à son état d'enclavement et à la nature périssable de certains de ses produits « bio » (mangue, haricot vert, tomate...) très prisés en Europe, drainent vers l'aéroport de Ouagadougou des cargos pendant les périodes d'abondance de ces produits.

En 2003, la demande du pays en énergie électrique était estimée à 419,2 gWh soit une progression de 43,2% par rapport à 1998 et est assurée par des centrales thermiques diesels à hauteur de 60%, les centrales hydroélectriques à 30% et par importation pour 10% (MCME 2004). Le rapport d'activité 2004 de la SONABEL faisait ressortir pour la seule ville de Ouagadougou une demande en énergie électrique de plus de 50% de la demande nationale. Le souci de satisfaire cette demande entraîne une émission importante de la pollution acoustique.

Il est à noter qu'à l'heure actuelle au Burkina Faso, il existe un vide juridique en matière de prise en charge des victimes de la pollution sonore. Cette question préoccupe actuellement les autorités de la santé, notamment celles des services ORL de l'office de la santé des travailleurs (OST) et de l'hôpital universitaire Yalgado Ouédraogo. Cette préoccupation s'est traduite par la création d'unités ORL dans douze provinces du pays et la rénovation de celles de Ouagadougou et de Bobo Dioulasso (Bansé, 2001). Aussi, des études faites par les professionnels de la santé sur les travailleurs de deux sites de l'étude révèlent des problèmes

d'audition de type professionnel dans les proportions respectives de 62,9% et 70% des enquêtés de la SONABEL et de l'aéroport (Bansé op. cit.).

La pollution sonore des deux sites fait l'objet de plaintes des riverains de nature "gêne d'endormir", de "perte pécuniaire" en terme de loyer et d'effet sur la santé. Les nuisances constituent alors une cause de la détérioration de la qualité de vie et d'insatisfaction environnementale. Cependant, la SONABEL et la Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (DGACM) évoquent notamment le principe d'antériorité urbanistique (les personnes seraient venues s'installer après la construction de l'aéroport et de la centrale Ouagadougou 1) et appellent à la rationalité comportementale des ménages puisque nombre d'aéroports à ce jour en fonctionnement auraient été, tel que celui de Niamey, construits dans des espaces peu urbanisés. Pour ce faire, ils puisent dans le registre de l'"*homo œconomicus*", proposé par la théorie économique classique, et considèrent alors les agents comme parfaitement informés, et rationnels dans les choix (ici résidentiels) qu'ils effectuent. Ils doivent donc assumer la responsabilité qui serait la leur.

De ce fait, connaître les impacts du bruit des avions et des centrales thermiques sur le consentement à payer des riverains permet au plan macroéconomique, l'aide à la décision publique et dans l'évaluation du coût social des nuisances sonores des avions et des centrales thermiques d'une part, et dans le cadre des comptes verts à l'évaluation des performances réelles en matière de croissance économique d'autre part. Au niveau microéconomique, cette étude permet l'évaluation du niveau de dommage, voire l'importance que les individus accordent à leur environnement sonore. Il est alors indispensable de savoir quels sont les impacts du bruit des avions et des centrales thermiques de la SONABEL sur le consentement à payer de leurs riverains respectifs ainsi que les mécanismes de régulation de cette pollution sonore. Plus spécifiquement, il s'agit d'apporter des réponses aux questions suivantes :

1- Quel est le coût social de cette pollution sonore ?

2- Combien les riverains de l'aéroport de Ouagadougou et des centrales thermiques sont-ils prêts à payer pour un environnement moins bruyant ou pour être moins gênés ?

3- Quels sont les facteurs explicatifs de la gêne due au bruit ?

La présente recherche centrée sur une approche microéconomique de la demande d'un environnement de qualité en l'occurrence le silence cerné à partir de la demande de logement et le bilan audiométrique, poursuit trois objectifs spécifiques :

(i) d'abord, caractériser la gêne due au bruit et ses facteurs explicatifs, et déterminer le consentement à payer des riverains de l'aéroport de Ouagadougou et ceux de la centrale thermique Ouaga 1 pour un environnement moins bruyant ou moins gênant ;

(ii) ensuite, évaluer le coût social de cette pollution et éventuellement faire une comparaison d'impacts entre ces deux sources de pollution ;

(iii) enfin, tirer des conséquences en terme de politiques économiques en proposant un mécanisme de régulation des effets néfastes de la pollution sonore.

De façon anticipée aux questions spécifiques, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : L'intensité du bruit des avions ainsi que celle de la centrale thermique de la SONABEL induisent une baisse marginale de la valeur des biens immobiliers environnants.

Hypothèse 2: Les riverains des sources polluantes consentent à payer fortement pour avoir un environnement moins bruyant.

Hypothèse 3 : Le niveau du bruit et la durée d'exposition sont des déterminants marginaux du niveau de gêne que subissent les riverains.

La mise à l'épreuve de ces hypothèses requiert des données socioéconomiques. Ainsi, des données sur le niveau de gêne ressentie, la mesure de niveaux de bruit, de même que les données sur les activités quotidiennes, permettent à l'aide d'un modèle probit multinomial ordonné de vérifier la dernière hypothèse. Le coût social en termes de loyer nécessite une connaissance de la variabilité des loyers dans les différentes zones de pollution sonore. La littérature économique sur l'étude des habitats fait ressortir que le modèle de prix hédoniste a été couramment utilisé pour résoudre de tels problèmes. Cette méthode exige une base de données complète sur les caractéristiques habitables (type d'habitat, superficie habitable, nombre de chambres...), les caractéristiques de proximité et ceux de l'environnement comme le niveau de bruit induit par la source étudiée. Elle est utilisée dans cette thèse pour dériver le consentement à payer, la demande inverse et le coût social de la pollution sonore pour chacun des deux sites.

Le problème de la méthode des prix hédonistes est qu'elle ne prend en compte que des valeurs d'usage (Faucheux et al., 1995). Afin de mieux cerner ce coût social, la méthode de capital humain est utilisée. Elle nécessite des données sur l'état de santé et les coûts de soins induits ainsi que l'état de morbidité. Pour ce faire, des examens d'audiométrie ont été effectués sur 50 individus tirés de façon aléatoire mais de façon proportionnelle aux deux groupes de notre échantillon de 200 ménages, qui ont quant à eux, été obtenus par tirage stratifié.

La thèse s'organise autour de quatre chapitres. Les deux premiers se consacrent à la théorie et les deux derniers à l'application. Plus spécifiquement, la mise en évidence des effets de la pollution sonore, la théorie du consommateur et ses extensions, les méthodes d'évaluation et les différentes théories d'internalisation des effets externes sont abordés dans le premier chapitre. Le second chapitre expose les modèles théoriques ainsi que les problèmes économétriques qu'ils soulèvent. Ce chapitre se termine par la présentation des méthodes d'estimation appropriées et les divers tests économétriques qui les accompagnent. L'avant dernier chapitre fait l'état de la méthode de recherche, présente les données

statistiques ainsi que les prémisses d'éventuelles relations entre régresseurs et régressants à travers des analyses de statistique descriptives. Mais avant, il donne les résultats de l'audiométrie. Le dernier chapitre donne la nature et l'intensité des relations qui relient les variables explicatives et les variables expliquées selon les modèles retenus pour les différents tests d'hypothèse. Des implications des résultats en termes d'internalisation y sont également traitées. Une conclusion générale synthétise les résultats de la recherche.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE



---

## Chapitre 1 : Impact de la pollution acoustique des avions et des centrales thermiques et théories économiques

---

Ce chapitre expose la théorie économique du consommateur et son application aux problèmes de la pollution acoustique des avions et des centrales thermiques. La théorie économique du consommateur offre un cadre d'analyse théorique du comportement du consommateur et de la variation de son bien être par la méthode de prix hédonistes. Le problème du consommateur peut être représenté de deux manières différentes : la maximisation de la fonction d'utilité (approche primale) et la minimisation des peines ou des dépenses (approche duale).

La plupart des analyses sur le consommateur postulent que celui-ci maximise son utilité sous contrainte budgétaire; c'est-à-dire de son revenu et des prix des biens et services auxquels il fait face. Il minimise ses dépenses sous contrainte d'un niveau d'utilité donné. Cela implique que les consommateurs sont rationnels.

Cependant, cette rationalité, c'est-à-dire l'allocation paréto-optimale issue du marché est très souvent entamée en présence d'effets externes, surtout dans le domaine environnemental. Le problème crucial qui se pose est la valorisation monétaire de ces effets et de leurs impacts sur le bien être des consommateurs. L'économie de l'environnement offre une solution au problème de la valorisation des effets externes ; et la théorie du consommateur couplée à certaines techniques (prix hédoniste par exemple) utilisées en économie de l'environnement permet de saisir le deuxième volet de la question à travers l'analyse de la variation du surplus du consommateur.

Le chapitre commence par une présentation des effets externes de la pollution sonore des avions et des centrales thermiques sur le bien être de la population (section 1). Une typologie des méthodes d'évaluation des actifs naturels, ainsi que le choix de la méthode à retenir dans la présente thèse constituent l'essence de la deuxième section. Dans la troisième section, la théorie du consommateur est développée et son extension permet d'intégrer les exigences de la méthode des prix hédonistes. La dernière section traite des théories de l'internalisation des effets de la pollution acoustique.

## **I. Mise en évidence des effets de la pollution sonore sur le bien être de la population**

La présente section traite des écrits relatifs aux effets de la pollution sonore sur le bien-être des populations. Elle passe en revue les effets généraux et les effets spécifiques du bruit tels que les effets sur la santé, les effets sociaux et les effets économiques.

### **I.1. Effets des mouvements des avions et des activités des centrales thermiques sur l'environnement**

L'avion est le moyen de transport le plus polluant par passager au kilomètre<sup>1</sup>. Aux abords des aéroports et des industries, la population, la faune et la flore subissent des nuisances importantes. L'avion et les centrales thermiques affectent l'environnement de différentes manières. Ils créent le smog, contaminent les voies d'eau et contribuent au réchauffement du globe.

Le transport aérien est déjà responsable de 12% des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) provenant de l'ensemble des moyens de transport en Europe. Actuellement, il contribue à la formation de 4% des deux principaux gaz (CO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub>) responsables du réchauffement de la planète. L'industrie se développant, sa contribution au réchauffement croît également. D'après les analystes, dans 50 ans, les avions seront responsables d'au moins 10% du réchauffement de la terre<sup>2</sup>. En effet, la cause de la pollution atmosphérique que provoquent le trafic aérien et les centrales thermiques vient des moteurs et du carburant qui est utilisé pour les faire fonctionner. Les principaux déchets que rejettent leurs moteurs à réaction sont : l'oxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et encore des déchets solides (suies). Ces émissions se déroulent à des moments précis du vol de l'avion : au décollage et lorsqu'il prend de l'altitude. Ces deux phases exigent de l'avion plus de carburant que lorsqu'il plane ou atterrit, par exemple. Pour les centrales thermiques, c'est au cours de la production d'électricité qu'apparaissent ces émissions.

---

<sup>1</sup> Déclaration de Strasbourg (1998)

<sup>2</sup> Annexe 16 de l'OACI (1993)

Certains chercheurs (Abdoulaye 1997 et 2001 ; Tazi et al. 2001) ont montré que le rejet des déchets solides, liquides ou gazeux, pollue les cours d'eau en aval, les populations riveraines et réduit la productivité des sols. Les avions et les centrales génèrent en outre une pollution sonore très importante. Mais, ce dernier aspect est rarement abordé en Afrique dans les études scientifiques. Cette thèse se propose d'apporter sa contribution à la connaissance scientifique en la matière.

La pollution sonore des avions et dans une certaine mesure celle des centrales thermiques, est actuellement au centre de nombreux débats. Avec l'accroissement continu du nombre des passagers<sup>3</sup>, les « pics » de bruit vont s'augmenter chaque jour. Ce qui affecte à la fois la qualité de vie des riverains des aéroports et la valeur immobilière de leurs résidences (Feitelson et al, 1996). De façon plus spécifique, quels sont donc les problèmes liés au bruit des avions et des centrales thermiques ?

## **I.2. Effets spécifiques liés au bruit**

Les effets du bruit des avions et des centrales thermiques sur l'homme et ses biens immobiliers peuvent être d'ordre sanitaire, psychologique et économique.

### ***I.2.1. Effets du bruit sur la santé***

Les impacts des aéroports et du trafic aérien ainsi que des centrales thermiques sur la santé de l'homme peuvent être scindés en effets directs et en effets secondaires.

Les effets directs du bruit sur l'organisme se résument aux effets sur l'oreille interne et aux effets sur le reste de l'organisme. Ainsi, selon Looten (1994), pour ceux qui travaillent sur le site même d'un aéroport ou pour ceux qui vivent très près des pistes, des niveaux de bruit de 85 dB(A) pendant huit heures conduisent après plusieurs années à des surdités irréversibles. Le cas des personnes appelées à travailler à proximité des moteurs à réaction (aires de stationnement, bancs d'essais, par exemple) est encore plus grave.

---

<sup>3</sup> Le trafic mondial est passé de 382 millions à 1,159 milliard de passagers entre 1970 et 1990, soit une augmentation d'environ 3 fois plus de voyageurs.

Une étude sur l'impact acoustique, menée auprès de 500 sujets membres du personnel d'une base civile et militaire (Bellenfant, 1998)<sup>4</sup>, montre à quel point il peut être dangereux pour la fonction auditive de travailler et de rester au voisinage immédiat d'un aéroport. Elle a pu individualiser sept traumatismes différents avec un pourcentage de 88.3% de déficit acoustique (883 oreilles sur 1000).

Il existe une surdité normale due au vieillissement des organes auditifs de l'oreille interne; mais, cette surdité peut être accélérée par le bruit. Les scientifiques admettent maintenant qu'un bruit fort, ambiant est un facteur décisif de l'altération précoce de l'ouïe (Looten op.cit.). La surdité selon les chercheurs est en progression permanente, alors qu'elle constitue un problème de santé publique en termes d'impact psychologique, d'handicap social et de poids économique. Sur le plan épidémiologique, plus de 120 000 000 de personnes souffrent dans le monde de surdité et 50% des surdités sont évitables. Les deux tiers de personnes souffrant d'une altération se trouveraient dans les pays en développement (OMS 1995, cité par Ouédraogo, 2003). Mars (1995)<sup>5</sup> estime à 180 000 000, le nombre de personnes souffrant de surdité dans le monde. Parmi elles, 4 500 000 souffrent d'une surdité bilatérale. Outre la surdité précoce et définitive, les bruits intenses agissent aussi sur les éléments sensoriels de l'équilibre.

Pendant longtemps, le bruit n'a été considéré qu'en tant que phénomène physique agissant sur un seul système : le système auditif. De nos jours, une telle conception est largement dépassée. Le bruit ne limite pas ses effets nocifs seulement à l'audition. Une revue effectuée par Dejoy (1986), montre que le bruit provoque des problèmes cardio-vasculaires : vasoconstriction, augmentation du rythme cardiaque, apparition et évolution d'hypertension chez des sujets longtemps exposés. Selon Rosenlund et al. (2001), les individus soumis à des niveaux de bruit supérieurs à 72 dB(A) sont à 80% plus exposés à l'hypertension. A la suite de ces auteurs, Erikson et al. (2007) par une analyse longitudinale, ont établi une corrélation entre la pollution sonore des avions et le risque de développer une hypertension pour quatre municipalités jouxtant l'aéroport d'Arlanda (Stockholm).

---

<sup>4</sup> Compte rendu de la conférence des 5-7 juin 1998 à Strasbourg

<sup>5</sup> Cité par Ouédraogo 2003

Auparavant, l'APE en 1978 avait établi qu'en plus des conclusions précédentes, le bruit était responsable des maux de cœur, de la contraction musculaire, des maladies liées au stress comme les ulcères, l'asthme, les maux de tête et les colites. On sait que les communautés riveraines de la centrale Ouaga 1 (située à Paspanga) sont exposés à des niveaux de bruit compris entre 55 et 85 dB(A)<sup>6</sup>. Ce qui laisse dire qu'il est possible que des riverains de ces sites contractent ces maladies. Mais, l'absence des données de longues périodes et les examens de sang que nécessite ce genre d'études, ne permettent pas de tester cette hypothèse dans le cadre de la présente thèse.

Par ailleurs, le bruit agit sur le système nerveux et provoque la fatigue, le stress, des troubles du caractère et des comportements agressifs ou risqués. Les travaux nécessitant une concentration et une vigilance deviennent difficiles, même si dans un premier temps le bruit peut avoir un effet activateur. Une revue de ces effets a été faite par Floru et al. (1987 et 1994). Les réactions que le bruit entraîne, affectent l'ensemble de l'organisme. Le bruit agit notamment dans deux domaines, à savoir les troubles de sommeil et la surcharge du système nerveux dont les effets vont souvent se conjuguer entre eux.

Le sommeil assure pour l'individu une double fonction de réparation de la fatigue physique et de la fatigue nerveuse et mentale. Le sommeil est composé de plusieurs stades dont les durées relatives varient au cours du déroulement de la nuit. Dans sa première partie, le sommeil présente une prépondérance de stades lents ou profonds et assure principalement la réparation physique. Dans sa deuxième partie, les stades de sommeil rapide ou paradoxal (période des rêves) deviennent plus fréquents. L'activité électrique du cerveau est intense et cela correspond à la réparation nerveuse. Dans cette phase, le sommeil est plus léger et peut être perturbé par des bruits faibles. Des expériences récentes montrent qu'à partir de niveaux de bruit stables de l'ordre de 35 dB(A) sur toute la nuit ( $L_{Aeq} 8h$ )<sup>7</sup>, l'ensemble des stades du sommeil se modifie. Le bruit provoque alors des difficultés d'endormissement, une dégradation de la qualité du sommeil par l'allongement des phases du sommeil

---

<sup>6</sup> Prise ponctuelle de niveau de bruit aux voisinages de la dite centrale (Samandoulougou et Thiombiano 2003)

<sup>7</sup>  $L_{Aeq}$  = niveau de bruit moyen équivalent écoulé pendant 8 heures.

léger qui ne sont pas perçues par le dormeur. Des modifications ponctuelles du sommeil se manifestent sur le plan encéphalographique et aussi au niveau cardiaque. Les effets apparaissent à partir des niveaux de crête suivants : 50 dB(A) pour l'enfant, 55dB(A) pour la personne âgée, 60 dB(A) pour l'adulte jeune en bonne santé ( Looten op. cit.). Cependant, il faut aussi tenir compte du niveau de bruit ambiant. Le bruit ambiant est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources, proches ou éloignées : usine, axe routier, oiseaux, cours d'eau, etc.

Le traitement des informations provenant du système auditif sollicite la fonction d'attention du cerveau. Dans certains cas de stimulation auditive intense, une surcharge de travail de la fonction d'attention rend pénible l'exercice de l'audition. Cette situation est fréquente puisque l'oreille assure aussi le rôle fondamental de guet et d'alarme.

On comprend que, dès qu'un individu est soumis toute la journée à une intense stimulation auditive, il ne sortira pas sans dommage des perturbations pendant son sommeil et notamment pendant la phase paradoxale. Non seulement il ne pourra pas réparer sa fatigue nerveuse diurne, mais cette nouvelle charge viendra s'ajouter à un système nerveux central non reposé. L'individu tombe alors dans un processus insomniacque lié à cette hyperactivité dont il ne peut plus se libérer que par des tranquillisants et des somnifères. Sur le plan pratique, on peut considérer qu'à l'intérieur des chambres, le niveau de bruit le jour devrait être en dessous de 40 dB(A) ( $L_{Aeq}$ ). L'Organisation Mondiale de la Santé recommande un niveau  $L_{Aeq}$  de 35 dB(A) la nuit. Ces valeurs, limites nocturnes, sont difficilement respectées dans les zones urbaines proches des aéroports et des centrales thermiques qui n'ont pas de couvre-feu nocturne. De plus, sur les aéroports internationaux comme celui de Ouagadougou et dans les centrales thermiques, l'activité des affréteurs aériens et celle des machines ne s'arrêtent pas la nuit.

Selon l'APE (1978) et Campo et al. (1989) le bruit peut également agir sur le fœtus au cours de la grossesse. Kiesling et al. (2004) ont rapporté qu'une étude a démontré une grande prévalence des naissances prématurées et des bébés à poids faibles dans les zones exposées à la pollution acoustique. Ils établissent une

corrélation hautement significative ( $p= 0.0008$ ) de -0.49 entre la durée de grossesse des filles et la résidence maternelle exposée au bruit des aéroports. Les chances que de tels évènements surviennent, sont de 5% plus à côté d'un aéroport ou centrale électrique que d'un lieu moins bruyant. En somme, nul ne saurait donner un prix à de tels évènements tristes ; le consentement à payer pour éviter cette catastrophe serait donc important.<sup>8</sup>

Ces effets peuvent en outre se cumuler ou aggraver les troubles dus à d'autres nuisances. Il y a alors des véritables risques de santé pour les riverains des centrales de la SONABEL et de l'aéroport. Le bruit engendre aussi des inégalités d'ordre social.

### *1.2.2. Effets sociaux du bruit : désagréments et inégalités sociales*

Le bruit a un caractère éminemment subjectif. On qualifie de bruit, des sons qui apparaissent comme indésirables, et qui provoquent une sensation désagréable.

Le contexte dans lequel nous évoluons, l'environnement social voire le climat affectif, apportent une dimension toute personnelle sur la façon dont chacun perçoit et subit le bruit. Parmi les effets du bruit, la gêne, tout comme les perturbations du sommeil, est probablement celle qui a été la plus étudiée mais aussi utilisée sur le plan opérationnel en particulier pour définir des réglementations visant à protéger les riverains du bruit des infrastructures de transport (Lambert, 2001). Il n'y a pas de définition unanime de la gêne due au bruit. On retiendra cependant celle de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) : « La gêne peut se définir comme une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (le bruit) dont l'individu (ou le groupe) connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé ». Sa signification varie considérablement selon les experts. On considère néanmoins que la gêne psychologique est la sensation perceptive et affective exprimée par les personnes soumises au bruit, alors que la bruyance n'est qu'une sensation perceptive. Sont souvent associées au concept de gêne, les interférences avec les activités au quotidien (conversation, écoute

---

<sup>8</sup> Selon American Academy of Pediatrics

télévision ou radio, lecture, repos, sommeil ...), mais aussi les désagréments et plus généralement l'insatisfaction vis-à-vis des conditions de vie. Les composantes psychologiques de la gêne sont complexes, si bien que l'on peut considérer la gêne due au bruit à la fois comme le résultat de perturbations des activités au quotidien et comme révélateur d'une attitude vis-à-vis de la source du bruit. Sur le terrain, elle représente une expression globale témoignant des effets ressentis par les personnes exposées ; et donc, une indication que le bruit est un problème et que la qualité de vie en est affectée : en témoignent les comportements réactifs involontaires (sursaut, réveils nocturnes...) ou volontaires (augmentation du volume sonore de la télévision par exemple), mais aussi les comportements d'adaptation (fermeture des fenêtres, déménagement, insonorisation, modification de l'usage du logement par exemple). Fields (1999) a recensé 360 enquêtes sur l'ensemble des enquêtes sociales ayant été menées depuis 50 ans sur la gêne due au bruit. La gêne y est mesurée de différentes façons, en utilisant des échelles verbales mais aussi des échelles numériques. Les échelles verbales utilisent des adjectifs situés sur une échelle en 4 ou 5 voire 7 points ; par exemple : pas du tout, un peu, assez et très gêné. Les échelles numériques sont la plupart du temps des échelles à 11 points (0 à 10), parfois en 7 points. Le point le plus bas (0) correspondant à « pas du tout gêné », le point le plus élevé correspond à « très » ou « extrêmement gêné » (Lambert, 2001).

La caractéristique spécifique du bruit en tant qu'atteinte à l'environnement, à la santé et à la qualité de vie, est que cette nuisance est limitée dans l'espace et dans le temps, affectant des groupes de personnes à des endroits précis. Ainsi, le bruit peut avoir des effets de discrimination sociale dans les régions habitées. On observe en effet que les personnes seules, celles vivant en dessous du seuil de pauvreté, les retraités et les étrangers représentent une proportion importante d'habitants à proximité des installations industrielles et des voies de communications bruyantes<sup>9</sup>. Des études sur les effets de la pollution sonore vont au-delà de la santé et établissent une relation entre le niveau de pollution et l'apprentissage des enfants. Ainsi, les enfants vivant ou allant dans des écoles situées dans les zones des lignes

---

<sup>9</sup> Confère site officiel de l'Etat de Genève :  
<http://www.geneve.ch/maisonsante/fr/thems/bruit/welcome.html>



aériennes ont un désavantage substantiel en apprentissage (en moyenne 3 à 4 mois de retard) en comparaison avec les enfants vivant dans des zones non affectées (Lang 1997 ; Matheson et al. 2003). Les principaux problèmes remarquables sont perçus à travers les capacités de lecture des enfants<sup>10</sup>. Mais, des études ont montré que la parole, la mémoire (souvenirs) ainsi que la santé mentale, sont aussi compromises (Hygge et al. 2002 ; Lercher et al. 2002 ; Matheson et al. op. cit.). Pour Kolski (2000) et Kampiani et al. (1993), le déficit d'audition conduit le sujet à un repli sur soi, un désintérêt pour la vie sociale, un isolement relationnel avec régression des activités cérébrales. Malchaire (1994) ajoute qu'en plus de l'handicap social, le sujet présente une incapacité de travail ou tout au moins connaît une augmentation de risque vis-à-vis des accidents de travail, car le sourd n'entend pas les signaux sonores d'avertissement (Kampiani et al. Op.cit.).

En somme, le bruit, à l'aune de ses effets, est alors un facteur de discrimination. En sus de ces conséquences discriminatoires dans le temps et dans l'espace, la pollution sonore engendre des coûts économiques pour les riverains.

### *1.2.3. Conséquences économiques du bruit*

Le bruit a également d'importantes conséquences économiques. Outre les frais directs de traitement des maladies causées par celui-ci et les dépenses défensives des ménages (liées à la protection contre le bruit), des coûts indirects peuvent survenir comme les pertes de recettes dues à l'absence ou aux baisses de rendements du personnel rendu malade par le bruit. Selon Rosenlund (2001), les personnes exposées au bruit des avions sont à 60% plus exposées à développer l'hypertension. Il estime les coûts pour s'en prémunir à environ 121\$ US et ceux du traitement annuel en moyenne à 600 \$ US.

Les coûts sociaux dus au bruit des avions et des centrales ont été appréhendés au plan académique par plusieurs chercheurs à travers leur effet sur le prix des logements et des terrains. Depuis 1980 avec Nelson, les chercheurs ont établi une

---

<sup>10</sup> Cas d'un déficit auditif endocochléaire, c'est-à-dire la difficulté de distinguer des consonnes telles que S, F, Ch et même la voie aigue des enfants.

corrélation négative entre le niveau du bruit des avions et le prix des logements. Des études estiment son incidence négative sur les valeurs des logements entre 0.5% et 0.6% par dB(A) aux Etats Unis et 0.8% à 0.9% au Canada pour des niveaux de bruit inférieur ou égal à 75 dB(A) (Nelson 1980 et 2003 ; Johnson et Button 1997 ; Schipper et al.1998). Cependant, d'autres chercheurs sont parvenus aux conclusions que l'aéroport en offrant l'accès à de nouvelles infrastructures, a un impact économique positif ou nul pour la société malgré la pollution qu'elle génère (Tomkins et al., 1998 ; Lipscomb, 2003 ; Van Praag et Baarsma, 2005). Ce dernier résultat s'explique par le fait que ces auteurs n'ont considéré que la distance uniquement. La prise en compte d'autres variables rejoindrait les conclusions de Nelson et autres.

Le tableau 1, issu de la revue de littérature, récapitule les différentes valeurs du Noise Depreciation Index (NDI), c'est-à-dire le taux de dépréciation obtenu par unité supplémentaire de bruit (dB(A)) sur les aéroports étrangers.

**Tableau 1** : Résultats des applications de la méthode des prix hédoniques au bruit des avions (1975 - 2000)

Aéroports	NDI** (%)	Aéroports	NDI (%)
Amsterdam	0,45	New York (JFK)	1,80
Atlanta (Hartfield)	0,65	Nouvelle Orléans	0,40
Bâle	0,22	Orly	0,50
Bodö	0,89	Rochester	0,55
Boston (Logan)	0,83	Reno	0,28
Dallas 1	0,60	San Francisco	0,50
Dallas 2*	2,30	Sydney (KSA) 1	0,40
Edmonton	0,51	Sydney (KSA) 2*	0,22
Londres (Heathrow)1	0,25	Toronto	0,52
Londres (Heathrow)2*	3,57	Vancouver 1	0,65
Los Angeles	0,80	Vancouver 2*	0,90
Manchester 1	0,15	Washington DC	1,06
Manchester 2*	0,47	Winnipeg	1,30
Minneapolis	0,58		

\* Evaluation prenant en compte des données plus récentes par rapport aux premières études (valeurs immobilières, informations acoustiques, caractéristiques des logements et de leur environnement social, urbain...).

\*\* Taux de dépréciation obtenus par unité supplémentaire de bruit (dB(A)).

**Source** : Adapté de Nelson (1980) ; Pearce (1993) ; Levesque (1994) ; INRETS (1997) ; Schipper (1997) ; Levinson, Gillen, Kanafani (1998) ; Van Praag, Baarsma (2000).

Certes, les “ indices de dépréciation ” (Nelson, 1980) varient parfois largement d’un environnement aéroportuaire à l’autre, avec une décote moyenne située entre 0,5 et 0,6 % par dB(A) supplémentaire. Les contextes spatiaux et temporels, les types de marchés immobiliers observés, leur degré de segmentation, l’indice acoustique retenu (NEF, NNI, Kosten, Lden, Leq...)... n’y sont pas étrangers.

Néanmoins, ces travaux concluent tous à l’existence de dépréciations de valeur des logements pour cause de bruit. En d’autres termes, le bruit des avions et des centrales thermiques, toutes choses égales par ailleurs –c’est-à-dire indépendamment des richesses aussi produites du fait de la présence aéroportuaire– diminue la valeur des biens immobiliers. Cette réalité est aujourd’hui bien établie partout, mais pas encore au Burkina Faso.

En résumé, nous pouvons dire que le coût économique de la pollution acoustique (  $CE$  ) est une fonction de l’incidence de cette dernière sur la santé (  $IS$  ), de la dégradation des prix des logements ou des terrains (  $DH$  ), et de la gêne ressentie relativement aux activités quotidiennes : écoute de la radio, de la télévision, de la communication parlée (  $g$  ) . Algébriquement, on aura :

$$CE = f( IS, DH, g ).$$

Ce coût peut être majoré par ce que l’on appelle en comptabilité verte, les dépenses défensives des ménages : c’est le cas par exemple de l’insonorisation.

Les coûts ainsi générés, sont qualifiés d’effets externes en référence au fait que la relation qui s’établit entre l’émetteur et le récepteur a lieu en dehors d’un marché. Autrement dit, dans le domaine des nuisances, la logique économique classique se trouve prise en défaut du fait d’une absence de médiation par un marché entre ceux qui les génèrent (émetteurs) et ceux qui les subissent (récepteurs). Mais depuis les années 1970, les économistes de l’environnement ont forgé un certain nombre de méthodes d’évaluation monétaire des actifs environnementaux.

## II. Méthodes d'évaluation des actifs environnementaux

Cette section se consacre à la typologie des méthodes d'évaluation des actifs naturels en général et à celles des effets de la pollution acoustique en particulier. Le choix de la méthode adaptée à la problématique de la présente recherche vient clore les analyses.

### II.1. Typologie des méthodes d'évaluation des actifs naturels

Les méthodes d'évaluation des actifs naturels en terme monétaire ont été développées et discutées par plusieurs auteurs. Une diversité de classifications de ces méthodes existe selon la méthodologie adoptée, même si les grands principes se retrouvent (Nicolas, 2002).

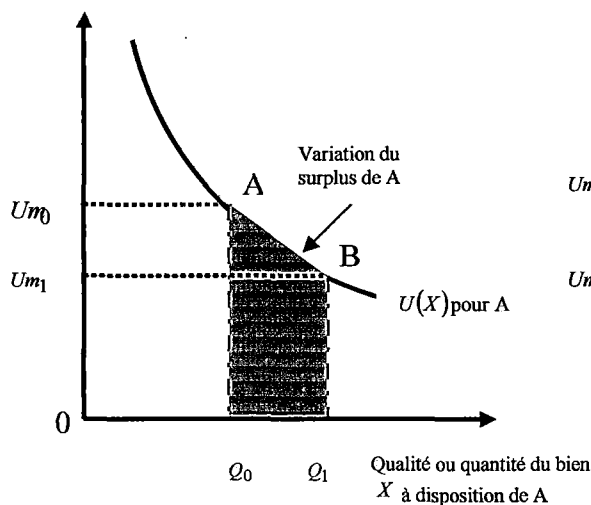
La méthode la plus orthodoxe, au regard de la théorie de l'économie du bien-être, se réfère aux courbes de préférence des acteurs économiques. On postule dans ce cadre théorique que tout individu est à même d'exprimer l'utilité qu'il retire du fait de disposer d'un bien ou service marchand ou non et dont l'utilité marginale est décroissante. Sous certaines hypothèses telles que la neutralité de la mesure de l'utilité et la constance de la valeur de l'argent quel que soit le revenu des personnes considérées, on peut définir une courbe d'utilité collective, somme des utilités individuelles. Celle-ci permet au niveau collectif, de mesurer la variation de l'utilité entraînée par la variation de la quantité disponible d'un bien ou service. Ainsi, si l'individu A possède une quantité  $Q_0$  d'un bien  $X$  donné, son utilité marginale est  $Um_0$ . Ce qui lui procure une utilité totale correspondant à l'aire du quadrilatère  $OUm_0AQ_0$  de la figure 1.1.a. Si sa disponibilité en bien  $X$  augmente (passage de  $Q_0$  à  $Q_1$ ), l'utilité additionnelle tirée de la consommation d'une unité supplémentaire de  $X$  diminue ; mais son utilité totale augmente. L'augmentation de la quantité disponible entraîne une augmentation du niveau de bien être de l'individu A, mesurée par la variation du surplus. Celle-ci est matérialisée sur le graphique par la surface  $ABQ_1Q_0$  (surface colorée en gris).

Le même raisonnement étant réalisé pour tous les individus de la société, alors le surplus collectif est égal à la somme des surplus individuels et est représenté sur le graphique 1.b. ci-dessous par  $Q_0CDQ_1$  (surface colorée en jaune).

**Graphique 1 :** Courbes d'utilité individuelles et courbe d'utilité collective

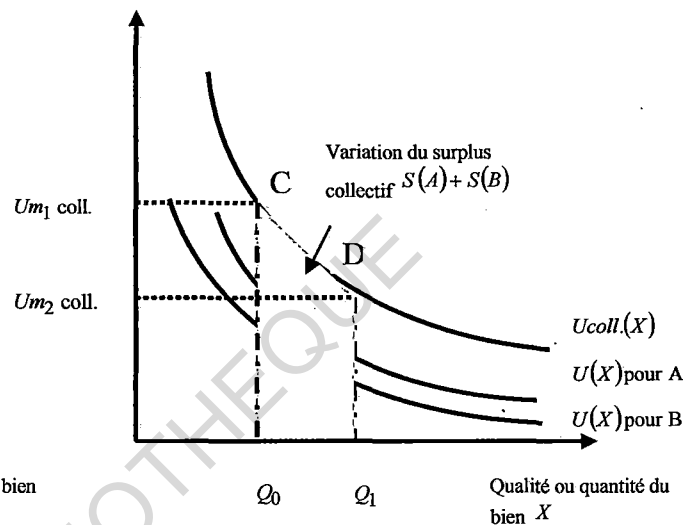
**Graphique 1.a :** courbe d'utilité individuelle

Utilité marginale du bien  $X$  pour l'individu A



**Graphique 1.b :** courbe d'utilité collective

Utilité marginale du bien  $X$



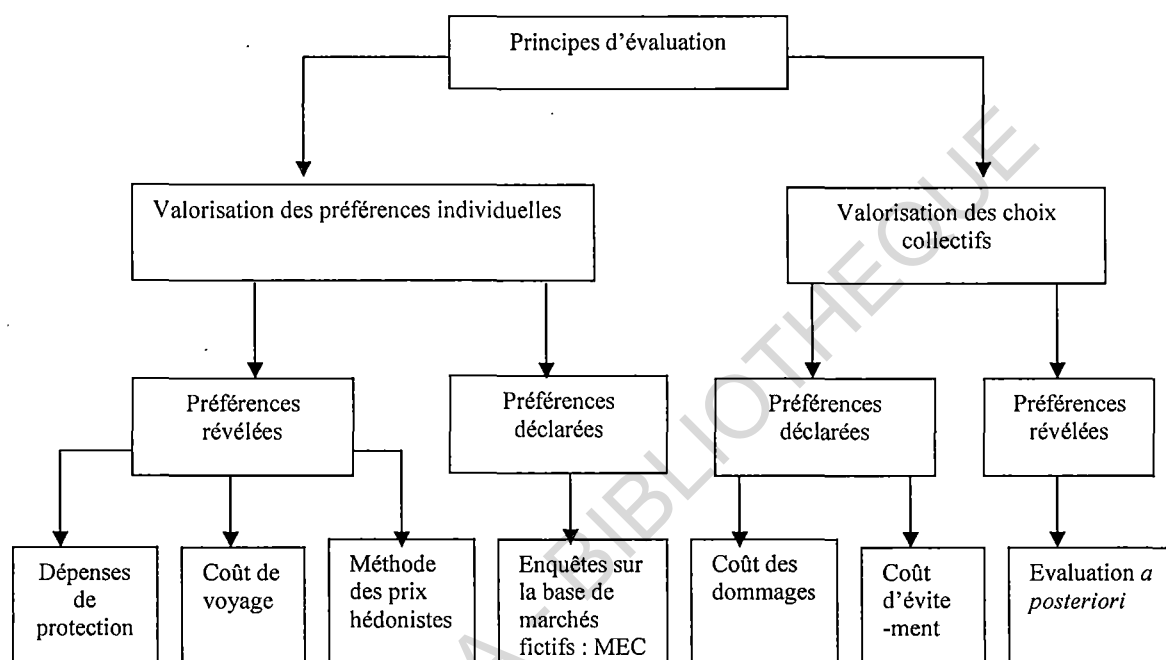
**Source :** Nicolas (2002)

La détermination de ces courbes peut se faire soit en recourant à des marchés existants sur lesquels ces préférences se trouvent relevées d'une façon ou d'une autre, soit en supposant un marché fictif sur lequel on demande aux agents de se positionner, comme s'il existait réellement.

Sur cette base, Bateman et Turner (1993) scindent ces méthodes en deux groupes suivant la disponibilité de la courbe de demande. La méthode d'évaluation contingente, celle du coût de déplacement et la méthode des prix hédonistes sont utilisées pour l'évaluation des biens pouvant être faite par une courbe de demande. Les approches utilisées dans le cas de l'indisponibilité de la courbe de demande sont : l'approche dose-réponse, celle des coûts de remplacement et la méthode de dépense de protection. Cependant, Verhoef (1994) classe ces méthodes dans les deux catégories suivantes : les approches dites « short cut » (de réduction brève) où les investissements actuels ou potentiels de protection sont considérés comme des

coûts d'externalité et les approches d'évaluation monétaires des externalités. L'approche de relation dose-réponse, les approches hédonistes et la méthode d'évaluation contingente font partie de cette dernière catégorie d'approches. La figure 2 donne une synthèse de ces différentes méthodes selon le principe d'évaluation adopté.

**Graphique 2** : Synthèse des différentes méthodes d'évaluation économique des dommages



**Source** : Réalisé à partir de la synthèse de la revue de littérature

## II.2. Choix de la méthode d'évaluation

L'étude conduite par Pearce et Markandya en 1989 pour le compte de l'Organisation de Coopération du Développement Economique (OCDE) montre que les méthodes les plus connues dans l'estimation des coûts de dommages dus au bruit sont les techniques hédonistes et celles de l'évaluation contingente qui sont toutes des techniques d'évaluation directe. Le principe est basé d'une part, sur les préférences révélées dans le cas de la méthode hédoniste ; et d'autre part, sur les préférences déclarées dans le cas de l'évaluation contingente, chacune étant fondée entièrement sur différentes séries d'hypothèses. Cependant, la mise en application de l'évaluation contingente dans un domaine où la réponse est très subjective, comme celui du bruit s'avère difficile. L'application du consentement à recevoir

(CAR) surestime les résultats. Par ailleurs, les pollués comprennent mal qu'en étant victimes, on leur demande leur consentement à payer (CAP). Selon Morrell et al. (2000), son application dans ce domaine est encore peu conseillée. En outre, la construction et la présentation d'un scénario compréhensif par tous les enquêtés, s'avère être une tâche caduque dans une population à majorité analphabète<sup>11</sup> ou non habituée à ce genre d'enquête. De plus, le support de paiement qui doit être réaliste et neutre, ainsi qu'une information claire et complète concernant les impacts environnementaux exigés dans l'application de cette méthode sont plutôt rares dans un pays comme le Burkina Faso.

De même, la MEC s'expose à des difficultés d'analyse importantes. Ces difficultés découlent non seulement de limites opératoires (exemple : lourdeur du dispositif d'enquête) mais aussi de multiples biais qu'elle peut impliquer (Bonnieux, 1998 ; Carson, 1999). Il s'agit notamment du caractère fictif de l'échange proposé qui impose de s'interroger sur la solidité des consentements à payer déclarés *ex ante* : c'est le biais hypothétique. Il s'agit aussi de la méconnaissance des conséquences de l'amélioration avancée dans le scénario qui implique une sensibilité parfois extrême des réponses au contenu du scénario, au protocole d'enquête et aux informations véhiculées par d'autres questions : c'est le biais informationnel (Willinger, 1996). Du fait au moins de ces deux biais, nous savons depuis, les recherches réalisées par Tversky et Kahneman que cette méthode présente le risque de construire les réponses qu'elle vise à recueillir. Aussi, une littérature foisonnante aborde cette problématique des biais. Elle traite cette question le plus souvent sous l'angle de la résolution économétrique du biais induit par les questions servant aux enquêtés pour déclarer leur intention de payer : question ouverte ou fermée, nombre des montants ou intervalles proposés... Tenter de maîtriser cette distorsion (par la spécification des modèles de traitement) revient à répondre à la question suivante : comment le mode de révélation retenu peut-il influencer les réponses de consentements à payer ?

---

<sup>11</sup> Le taux d'analphabétisme des adultes au Burkina Faso est de 69,5% (MEBA, 2005).

Pour pallier ces problèmes, la méthode des prix hédonistes qui passe par un marché réel qu'on utilise couramment, se dégage comme la mieux adaptée à la présente étude.

La méthode de prix hédoniste est la plus développée dans les nombreux travaux de recherche et enquêtes disponibles ; Mayeres et al. (1996) montrent qu'elle est la plus largement utilisée pour évaluer le coût social du bruit. En outre, il est possible d'estimer la variation du bien-être social par l'utilisation de la courbe de demande obtenue à partir de cette méthode. Par conséquent, dans le but d'atteindre les objectifs de la présente recherche, la méthode des prix hédonistes se dégage comme la mieux adaptée pour être appliquée dans le premier groupe d'effets (sur le loyer). La question de la base théorique sur laquelle elle s'appuie se pose cependant.

### **III. Théorie du consommateur et son extension**

La modélisation des préférences des consommateurs est primordiale dans le calcul de la variation du niveau de bien-être individuel et celle du bien-être social suite à des changements dans les prix ou les revenus. Le niveau de bien-être d'un individu est généralement mesuré par le niveau d'utilité total qu'il acquiert suite à la consommation d'un panier de biens. Celui-ci peut être obtenu par la dérivation des fonctions de demande soit marshalliennes, soit hicksiennes. Le problème du consommateur peut être appréhendé par l'une des deux méthodes suivantes : la spécification athéorique et la spécification théorique.

#### **III.1. Modélisation « athéorique » des préférences du consommateur**

La spécification dite « athéorique » essaie de comprendre le comportement du consommateur par la définition d'une équation singulière de fonction de demande paramétrique sans faire recours à la théorie du consommateur. Cette pratique est très courante en économie de l'environnement surtout dans les modèles d'explication de choix avec des variables latentes. C'est le cas par exemple de certaines spécifications des modèles logit et probit. Dans la présente recherche, nous utilisons cette forme dans le modèle explicatif de la gêne due au bruit à travers le modèle probit multinomial ordonné.



Selon Sadoulet et de Janvry (1995), l'estimation paramétrique est attractive par sa simplicité. Cependant, elle présente quelques inconvénients tels que le choix arbitraire de la forme fonctionnelle et des variables, l'hypothèse de la constance des élasticités de toutes les variables que postule la forme fonctionnelle et le non respect de l'hypothèse de l'utilisation exclusive du revenu à la consommation. Ce dernier inconvénient engendre la non satisfaction de l'hypothèse d'exhaustivité d'Engel.

Une approche alternative est l'utilisation de la théorie du consommateur comme fil conducteur du choix de la forme fonctionnelle ainsi que des variables à y intégrer.

### III.2. Théorie de base du consommateur

Dans la spécification théorique on recourt à la théorie du consommateur pour expliquer son comportement. L'objectif de base de la théorie du consommateur est d'expliquer comment le consommateur rationnel opère ses choix lorsqu'il fait simultanément face à un vecteur prix et à un revenu limité : c'est la contrainte budgétaire.

Nous avons à cet effet deux possibilités : l'approche primale et l'approche duale.

L'approche primale part de la maximisation de l'utilité directe. Dans ce cas, le problème du consommateur se résume :

$$\text{Max}U(q, z) \text{ sc } y = P'q$$

avec:

q = vecteur quantité des biens consommés ;

P= vecteur prix des biens consommés ;

z = les caractéristiques individuelles du consommateur tels que l'âge, le sexe, le niveau d'instruction... ;

y = revenu du consommateur.

La méthode de résolution la plus usitée est celle de Lagrange.

Le problème dual consiste à une minimisation d'une fonction des coûts (dépenses) ou de désutilités tels que les déséconomies externes (nuisances sonores). Dans le

cas des déséconomies, il y a faillite de marché, car le signal prix n'existe plus. Par conséquent, l'extension de la théorie standard du consommateur s'impose pour une modélisation du comportement du consommateur.

### **III.3. Méthode des prix hédonistes : théorie de Lancaster vs théorie de Rosen**

La théorie microéconomique standard (traditionnelle) considère que la consommation d'un bien ou d'un service résulte de la maximisation de l'utilité sous contrainte budgétaire. En conséquence, la demande d'un bien homogène provient d'un arbitrage prix/revenu. Ce cadre théorique convient difficilement à l'analyse des produits complexes tels que les logements (Vasselin 2005).

La nouvelle théorie du consommateur est née d'une critique de l'approche traditionnelle.

La méthode des prix hédonistes se ramène à une application de la théorie du consommateur à des biens complexes, difficile à comparer (Cavailhès, 2005). Appliquée au logement, elle permet de révéler le prix implicite des attributs liés à la localisation (externalités, accessibilité, ...) dont le prix ne peut être observé directement sur un marché.

Deux principales approches théoriques du consommateur peuvent servir de soubassement à la méthode hédoniste. Cette section commence par trancher sur la théorie qui est adaptée à notre problématique dans un premier sous point, et traite des différentes formes fonctionnelles et du choix le mieux adapté dans les deux autres sous points.

#### ***III.3.1. Présentation des deux théories***

Selon Triplett (1986), les modèles des prix hédonistes ont été développés et utilisés dans les indices de prix bien avant que la conceptualisation de leur cadre ne soit comprise. Deux principales approches contribuent très grandement aux travaux théoriques des prix hédonistes. La première est dérivée de la théorie du consommateur de Lancaster (1966) et la seconde du modèle de Rosen (1974).

---

Toutes deux, visent à conférer des prix aux attributs sur la base de la relation qui existe entre les prix observés des différents produits et le nombre des attributs associés à ces produits.

Le modèle de Lancaster (1966), celui de Rosen (1974) et le modèle de prix hédoniste présument tous, que les biens possèdent d'innombrables attributs qui sont combinés aux groupes des caractéristiques que le consommateur évalue. Mais ces modèles possèdent des différences fondamentales.

Le modèle lancastrien présume que les biens, qui sont des paniers de caractéristiques, sont rassemblés au sein de groupes dont les éléments possèdent des attributs homogènes (Lancaster, 1966). Les préférences des agents portent sur les vecteurs de caractéristiques et les produits sont désirés pour leurs propriétés et non plus pour eux-mêmes. Deux critères expliquent le choix d'un agent, les différences de prix et les différences de caractéristiques. L'individu obtient son vecteur de caractéristiques en consommant une combinaison de biens lui fournissant ces caractéristiques. Cependant, la maximisation de l'utilité ne peut pas résulter de la consommation d'un seul produit qui posséderait les attributs idéaux car les biens complexes (logements) sont, par nature, indivisibles. Puisque le produit idéal n'existe pas, le consommateur choisit donc les propriétés se rapprochant le plus de celles qu'il recherche<sup>12</sup> et ceci sous sa contrainte budgétaire. En comparaison, le modèle de Rosen suppose qu'il existe une gamme de biens, pour lesquels les consommateurs n'acquièrent pas typiquement les attributs désirés par achat d'une combinaison de biens. Chaque bien est plutôt choisi dans l'éventail de marques ou de qualités et est consommé directement. De même, le modèle des prix hédonistes n'exige pas une consommation jointe à l'intérieur d'un panier de biens. Ainsi, l'approche de Lancaster est plus adaptée aux biens de consommation courante tandis que celui de Rosen convient aux biens de consommation durable.

La théorie de Lancaster suppose également une relation linéaire entre les prix des biens et leurs caractéristiques. Les prix implicites sont invariables dans les différentes séries de caractéristiques. Ils peuvent varier simplement, lorsqu'il y a un

---

<sup>12</sup> Hotelling, (1929) cité par Vasselin (2005).

changement dans la combinaison des biens consommés. A contrario, Rosen postule qu'à moins qu'il ne soit possible pour les consommateurs de faire un arbitrage entre les attributs pris individuellement ou en groupe, une relation non linéaire entre les prix des biens et leurs attributs inhérents serait plus probable. Une fonction de prix non linéaire implique que le prix implicite n'est pas constant, mais est fonction de la quantité d'attributs achetés, et, dépend de la forme fonctionnelle choisie et des quantités des autres attributs associés au bien en question.

Comme Rosen a incorporé directement le revenu dans la contrainte budgétaire du consommateur, lorsque le revenu augmente, le consentement à payer du consommateur pour un certain attribut doit aussi changer. Cela présume que le prix de demande de l'acheteur ou son consentement à payer pour un attribut est fonction de son niveau d'utilité, de son revenu et des autres variables qui peuvent influencer son goût et ses préférences, tels que l'âge, le niveau d'éducation...

Cependant, l'identification de la fonction de demande inverse pose quelques problèmes parce qu'elle dépend des hypothèses faites sur l'offre de l'attribut sur le marché implicite. Si l'offre d'un bien est parfaitement élastique ou si l'offre d'un attribut est fixe, le prix marginal de ce dernier devient exogène dans l'estimation de la fonction de demande inverse. Bartik (1987) n'approuve pas l'approche d'estimation du modèle de prix hédoniste de Rosen et soutient que le problème d'estimation du modèle hédoniste ne résulte pas de la confrontation entre l'offre et la demande, le consommateur ne pouvant pas influencer les offreurs. Par contre, il pense que le problème d'estimation dans le modèle hédoniste est provoqué par l'endogénéisation à la fois des prix et des quantités des attributs dans le cadre d'une contrainte budgétaire non linéaire. En conséquence, il n'est pas nécessaire de modéliser l'offre du marché.

### *III.3.2. Implication économique des hypothèses*

L'approche hédonique voit tout bien comme une p-liste de quantités caractéristiques plus fondamentales. Appliquée au logement, et en supposant  $N$  logements individuels distincts, l'approche hédonique considère donc tout

logement  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) comme une liste ordonnée  $(x_1^i, \dots, x_p^i)$  de quantités de ces  $k$  caractéristiques. Dans cette écriture,  $x_j^i$  désigne la quantité de la caractéristique  $j$  contenue dans le logement  $i$ . Cette vision des choses repose sur trois hypothèses.

D'abord, chaque caractéristique doit faire l'objet d'une mesure quantitative objective (éventuellement limitée à l'éventail  $\{0,1\}$ : le logement possède ou pas d'eau courante par exemple). Ensuite, tous les participants au marché du logement (vendeurs et acheteurs sur le marché de l'acquisition, bailleurs et locataires sur le marché locatif) sont supposés connaître les quantités de chacune des caractéristiques que possède un logement. Ceci rejoint l'hypothèse d'information parfaite de la concurrence pure et parfaite.

Finalement, le nombre de caractéristiques considérées doit être suffisamment large pour englober toutes les considérations qui peuvent entrer dans le choix, par un locataire ou un acheteur d'un logement particulier. Un logement doit être entièrement caractérisé par les propriétés qui le définissent.

L'approche hédonique suppose en outre que les différentes unités de logements (c'est-à-dire, dans cette approche, les différentes combinaisons de  $k$  caractéristiques), se font attribuer un prix par un marché *concurrentiel* et que ce prix est un prix d'*équilibre*. Formellement, chaque unité de logement  $i$  se voit attribuer un prix  $p_i$  qui devient une fonction des caractéristiques qui définissent le logement. On a donc :  $p_i = f(x_1^i, \dots, x_p^i)$ .

On appelle *fonction de prix hédonique*, cette fonction  $f(\cdot)$  qui associe à toute combinaison des  $k$  caractéristiques (à tout logement), le prix de marché de cette combinaison.

L'hypothèse de fonctionnement concurrentiel du marché du logement signifie simplement que les participants à ce marché sont suffisamment nombreux pour pouvoir supposer que leur décision sera sans effet sur le prix du logement. On parle dans ce cas d'atomicité des acteurs ou que les agents individuels sont supposés être

des « price takers ». Ils décident, suivant le cas, de louer, d'acheter, de mettre en location ou de vendre un logement particulier en supposant que le prix (ou le loyer) de ce logement est une donnée indépendante de leur contrôle. Cette hypothèse est aisément défendable du côté de la demande (les acheteurs et les locataires n'ont pas une grande marge de manoeuvre pour négocier le prix ou le loyer d'un logement disponible qu'ils ont vu annoncer). Elle l'est également du côté de l'offre. Un propriétaire (ou un bailleur) qui exige un prix (ou un loyer) supérieur au prix du marché ne trouvera pas preneur.

Plus délicate est l'hypothèse suivant laquelle les prix des logements sont des prix d'équilibre ; c'est-à-dire, sont déterminés de manière à rendre compatibles les décisions individuelles des uns et des autres. Sans entrer dans les détails, disons simplement de cette hypothèse qu'elle implique que :

- (i) d'une part, le logement occupé par chaque ménage (comme propriétaire ou locataire) a été choisi par lui sur la seule base de sa connaissance (parfaite par hypothèse) du contenu en caractéristiques et du prix de tous les logements existants (de la fonction  $f(\cdot)$ ), et sous la seule contrainte que fait peser sur lui son budget ;
- (ii) d'autre part, le parc de logements existant résulte de décisions d'entrepreneurs de mettre à la disposition d'occupants potentiels les logements existant (plutôt que d'autres). Ces décisions ont été prises sur la base de leur seule connaissance des prix qu'ils pourraient obtenir pour la mise à disposition de n'importe quelle combinaison techniquement envisageable des  $k$  caractéristiques. Ces décisions ont été prises sur la base de la seule connaissance qu'avaient les offreurs de logements de la fonction  $f(\cdot)$ .

La deuxième implication de la notion d'équilibre hédonique est, peut être, plus subtile que la première. Elle suppose en effet que des combinaisons de caractéristiques (des logements) non observées auraient eu un prix connu des offreurs (et donné par la fonction de prix hédonique) si ces derniers avaient jugé bon de les mettre à la disposition d'occupant potentiel. La seule raison pour laquelle on n'observe pas les unités de logement en question tient au fait que, compte tenu du prix qu'ils auraient pu obtenir et du coût de fabrication de ces unités, les producteurs n'ont pas jugé avantageux de les produire.

Le modèle des prix hédonistes permet de saisir la perte de la valeur vénale des logements mais pas les pertes de productivités liées à l'immobilisation pour cause de santé.

#### III.4. Problème sanitaire de la pollution en économie

La notion de bien-être renvoie au concept de fonction d'utilité. L'analyse économique conduit à considérer l'état de santé d'un individu comme un argument de sa fonction d'utilité. Cet état est aléatoire. Selon l'OMS, il est fonction des caractéristiques individuelles et de l'environnement dans lequel il évolue. Ces facteurs peuvent entraîner l'apparition des maladies.

Chez les économistes modélisateurs et positivistes, trois inspirations théoriques peuvent être distinguées. Pour les uns, il est important de démontrer que l'amélioration de la santé de la population favorise la croissance. D'autres, en "bons keynésiens" s'attachent à trouver la solution de couverture des dépenses de santé ayant une croissance autonome. Ils considèrent ces dépenses en tant que demande finale des ménages qui servent d'accélérateur de la croissance des fondamentaux. Enfin, certains cherchent le volume optimal de ces dépenses.

Plusieurs types de travaux peuvent être rapportés au premier groupe. Le modèle de Wheeler (1980) met en relation la satisfaction de besoins vitaux (nourriture, santé et éducation) et la productivité. L'auteur suppose que ces processus ne sont pas séparables à court terme et par conséquent, il constitue un système d'équations simultanées décrivant le processus de production matériel et de reproduction des composantes qualitatives de la force de travail. Ainsi, le produit national, l'éducation, la santé et la consommation des produits alimentaires sont des variables endogènes. La santé est assimilée à l'espérance de vie, tandis que la fonction de production tient compte des accroissements de la richesse par tête d'habitant, du niveau de l'éducation et de l'infrastructure médicale. Le nombre de médecins par milliers d'habitants représente la contrainte imposée par les capacités de dépenses publiques. Le modèle est estimé en utilisant les données de 56 pays pauvres sur la période de 1960-1970, et les résultats montrent l'importance multiplicative de

---

l'accumulation de la qualité du travail (en éducation et en santé) dans le processus de production élargie.

Les analyses plus récentes des relations entre la santé, l'aptitude de travailler et la productivité économique ne prennent généralement pas la forme modélisée. Par exemple, les estimations économétriques sur 84 pays du modèle de croissance (Knowles, Owen (1997)) basé sur la théorie de Solow montrent que la variation des revenus par tête sur la période 1960-1985 est en grande partie explicable par l'accroissement de l'espérance de vie (santé), surtout dans les pays en développement. En revanche, la variable qui résume l'impact de l'éducation n'est pas significative pour tous les groupes de pays. Les études empiriques (Rizzo et al. (1996) pour le cas des Etats-Unis, Goldberg et al. (2000), Harvey et al. (1999))<sup>13</sup> évaluent l'impact de la morbidité des actifs sur la réduction du volume de travail engagé dans la production. De la sorte, toutes choses égales par ailleurs, la production baisse en cas d'absence des travailleurs pour cause de maladie, et la productivité décroît encore s'ils continuent de travailler étant souffrants même quand les maladies ne sont pas cliniquement identifiées.

Malgré les imperfections des concepts et de mesures quantitatives de santé, de productivité ou d'intensité du travail proposées dans la littérature, par exemple dans les études nommées précédemment, on peut considérer comme démontré empiriquement le postulat théorique selon lequel les capacités humaines augmentées par la santé font croître les valeurs créées dans le processus de la production. Ainsi, selon Bloom (2002), la santé qui est un facteur important du capital humain, peut rehausser la productivité d'un travailleur en élevant ses capacités physiques telle sa force de travail et son endurance, aussi bien que ses capacités mentales telles que sa fonction cognitive et son raisonnement. Aussi, il est clair maintenant que la santé affecte différemment les intérêts économiques dans les pays pauvres et riches. Les premiers, agricoles ou en voie d'industrialisation, où la force physique de la main d'oeuvre est très importante, affrontent en premier lieu le problème de productivité lié à la malnutrition. Les seconds, avec la prédominance du tertiaire, cherchent davantage à combattre la

---

<sup>13</sup> Cité par Irina Peaucelle (2003)



nuisance liée à l'absentéisme pour cause de maladies chroniques ou psychologiques. Cependant, il est à noter que les préoccupations des pays développés prévalent aussi dans les grandes villes comme Ouagadougou qui se caractérisent aussi par une prédominance du secteur tertiaire. Par conséquent, une morbidité due au bruit peut engendrer des pertes de productivité. Ainsi, les bénéfices liés à la réduction des pollutions sonores peuvent se caractériser par des gains de productivité.

Le problème de la pollution acoustique se pose en matière de politique publique, essentiellement en termes de santé. Généralement, on distingue la mortalité de la morbidité, et les effets chroniques des effets bénins. L'ampleur des effets est fonction de la population cible. En effet, Kiesling et al. (2004), ont montré dans leur étude que les enfants et les femmes enceintes sont très vulnérables à la pollution sonore. Aussi, les personnes soumises au bruit de fréquences aiguës et non permanent subissent-ils des effets plus pervers que ceux exposés au bruit de basses fréquences et permanent.

Il existe une gamme très diversifiée de méthodes d'évaluation de ces effets sur la santé consécutive à un changement de la qualité d'un bien environnemental, en l'occurrence le silence dans le cas présent. Dans la littérature économique, on distingue la mortalité de la morbidité (Freeman, 1993 ; Cropper<sup>14</sup> et Freeman, 1991; Desaignes et Point 1993).

Quand bien même des évaluations de la valeur statistique de la vie humaine sont nombreuses, force est de reconnaître que l'évaluation économique de la mortalité de long terme est quasi-inexistante par manque de données. En effet, la plupart des études épidémiologiques ont une approche de court terme, à travers les pics de pollution. Très peu de travaux ont mis en évidence une relation entre la pollution et la mortalité (Dockery et al., 1993 et Pope et al., 1995)<sup>15</sup>. Une question sur la mesure du coût de la mortalité demeure d'autant plus que celui-ci dépend de la valeur de la mort. Aussi, dans le domaine de la pollution acoustique, le problème le

---

<sup>14</sup> Cité par Rozan (1999)

<sup>15</sup> Cité par Anne Rozan, 1999.

plus fréquent est la morbidité ; la mortalité n'étant évoquée qu'en cas de crash aérien ou d'incendie industriel.

Rozan (2000) distingue dans le cas de la morbidité, deux catégories de coûts. Il y a d'une part, les coûts « socialisés » qui regroupent les coûts de traitement et les arrêts de travail. Selon elle, ce qualificatif est dû au fait que la quasi-totalité de ces coûts sont pris en charge par la société. D'autre part, la gêne, l'automédication, l'incapacité à pratiquer les loisirs constituent le deuxième groupe. Pour notre part, nous considérons qu'il n'y a pas de différence entre ces deux groupes dans le cas des pays en développement, où le système de prise en charge sociale, ou même d'assurance maladie est presque inexistant.

Les sections précédentes ont révélé l'existence des nuisances sonores qu'ont les avions et les centrales thermiques sur les populations riveraines. Le problème est alors maintenant de trouver une solution paréto-optimale à cette situation. Le marché, qui par essence est le moyen de régulation par excellence entre les agents économiques a prouvé ses limites dans ce domaine. La défaillance du marché dans le domaine de l'environnement a suscité au niveau des économistes la recherche des solutions palliatives au problème des effets externes. Les instruments de politique environnementale sont des mesures institutionnelles dont le rôle est de susciter un comportement moins polluant. La présente section a pour objet de faire le tour d'horizon des différents instruments de régulation rencontrés dans la théorie économique et ceux appliqués dans d'autres contrées afin d'en dégager un.

#### **IV. Solutions théoriques aux problèmes environnementaux**

Divers courants et analyses économiques ont tenté de proposer des solutions face à l'ampleur des dégâts causés par les problèmes environnementaux. L'enjeu est d'importance prépondérante, puisqu'il s'agit du bien-être de l'homme. Les solutions proposées correspondent généralement à quatre axes à savoir la taxe pigouvienne, le théorème de Coase, le courant écologique et l'approche volontariste. Certains écrits les regroupent en trois axes que sont les instruments réglementaires, les

instruments économiques et les instruments difficilement classables par rapport aux deux premiers<sup>16</sup>.

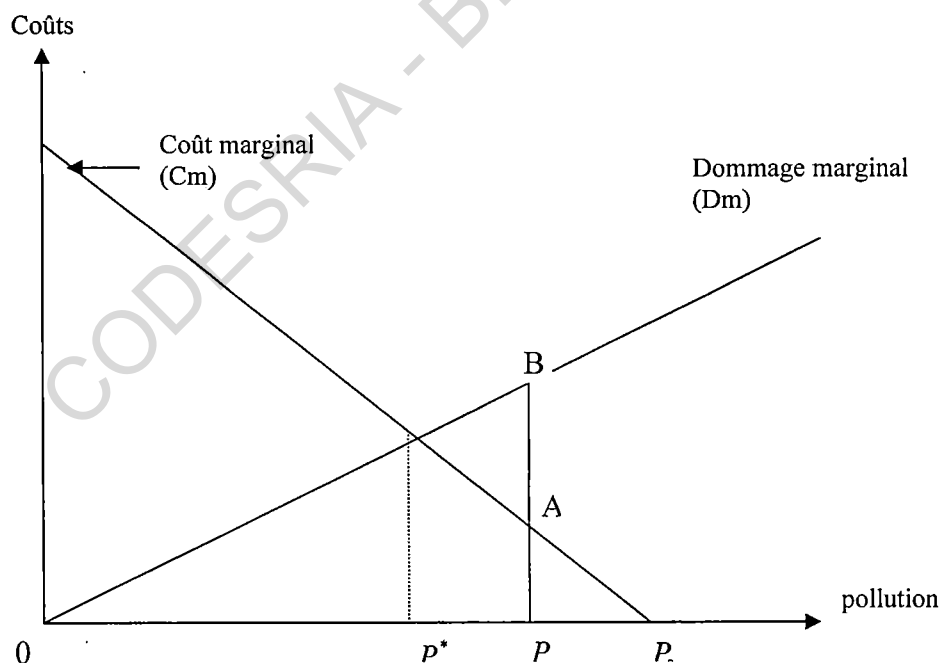
Mais auparavant présentons le principe d'internalisation des externalités.

#### IV.1. Principe de l'internalisation des externalités

Le principe de l'internalisation des externalités ne consiste pas à une élimination systématique de la pollution. Supprimer entièrement le bruit, les accidents ou les émissions n'est possible qu'en renonçant à toute activité de transport. Il faudrait en fait que les répercussions négatives des activités de transport soient ramenées à un niveau "optimal" du point de vue de la société. A ce niveau les coûts marginaux liés à une nouvelle réduction de ces répercussions seraient égaux aux bénéfices marginaux que l'on pourrait escompter d'une telle action. Une réduction plus marquée des répercussions générerait davantage de coûts que de bénéfices.

Il s'agit plutôt de déterminer la situation paréto-optimale pour la collectivité. Illustrons ce principe par le graphique 3 :

**Graphique 3** : Pollution optimale



Source : Barde (1992)

<sup>16</sup> Les instruments informationnels et les accords volontaires ou accords négociés font partie de ce dernier groupe

Le graphique 3 illustre l'objectif de l'internalisation des externalités. La droite  $Dm$  représente l'évaluation monétaire du dommage marginal subi par les riverains d'une source de pollution. Ce dommage est une fonction croissante de la pollution émise. La droite  $Cm$  qui est le coût marginal de dépollution pour l'entreprise, quant à elle, est négativement corrélée au niveau de pollution. Quand il n'y a aucun effort de dépollution le niveau de pollution est à son maximum  $P_0$ . A ce point, le pollueur ne subit aucun coût supplémentaire ( $Cm = 0$ ) tandis que le dommage subi est maximal. Cependant, moins l'entreprise pollue, plus il est difficile, donc coûteux de dépolluer davantage. De ce fait, si l'entreprise n'est soumise à aucune contrainte, elle produira de telle sorte que la pollution soit maximale car son objectif est de minimiser ses coûts. En d'autres termes les deux objectifs sont antagonistes. L'optimum social est de minimiser la somme du dommage ( $PB$ ) et le coût de réduction de la pollution ( $PA$ ). Cet optimum est atteint au point où  $PB = PA$  ; ce qui correspond au point  $P^*$  sur le graphique 3.

L'objectif de toute mesure correctrice est donc de ramener le niveau de pollution à  $P^*$  et non de l'annuler. Pour ce faire, plusieurs approches ont été abordées en théorie économique, dont la taxe pigouvienne, le théorème de Coase et les autres mécanismes de régulation.

#### IV.2. Tradition Pigouvienne

La taxe pigouvienne et le théorème de Coase font tous deux partie de l'économie néo-classique.

La théorie néo-classique enseigne que les préférences des individus au sein d'un marché parfait se révèlent tel qu'elles sont satisfaites de manière optimale pour la société. Le problème réside dans le fait que les marchés parfaits n'existent pas. Plus particulièrement, il y a échec de marché concernant les questions de monopoles naturels, de biens publics et d'externalités. Le marché montre une véritable incapacité à dévoiler les préférences en ce qui concerne les biens publics ou collectifs. Or, la plupart des biens d'environnement sont des biens collectifs.

En rappel, un bien collectif peut être défini par une double propriété à savoir la non rivalité et la non exclusivité. La première traduit le fait que l'utilisation d'un bien collectif par un individu n'empêche pas les autres de l'utiliser et ne lui enlève rien. Tandis que, la seconde renvoie à l'impossibilité d'écarter qui que ce soit de l'utilisation, y compris les individus ne participant pas à son financement.

Il y a une difficulté qui vient du phénomène dit du profiteur ou « free rider ». Un individu n'a pas intérêt à révéler ce qu'il consentirait à payer pour bénéficier d'un bien public. Il lui suffit d'espérer que les autres en supporteront la charge financière. Ici la vérité des prix n'existe pas, les mécanismes du marché échouent. Il est difficile de produire des biens collectifs. On dit qu'il y a faillite du marché.

#### *IV.2.1. Effet externe et déséconomie externe*

Les effets externes ont été abordés d'abord par Marshall pour expliquer les rendements croissants au niveau des entreprises. Ils seront plus tard étendus à l'environnement par Pigou, notamment avec la pollution.

##### **a) Marshall et les effets externes**

Au cours de son analyse des rendements croissants en 1890, Alfred Marshall explique que la nature est soumise à la loi des rendements décroissants, tandis que l'organisation industrielle engendre des rendements croissants. Il avance alors la notion d'économie externe pour démontrer cela. Ce sont notamment les économies d'échelle qui se manifestent au sein d'une entreprise qui augmentent son niveau de production. Constatant que ces économies internes n'étaient pas suffisantes pour expliquer les rendements croissants, il introduit une autre explication. Selon cette explication, les rendements croissants viendraient ainsi d'économies externes. Ce sont « celles qui résultent du progrès général de l'environnement » comme par exemple les progrès des moyens de transport...

Marshall trouvait ainsi une explication suffisante entre les rendements décroissants dans l'agriculture et la croissance continue du produit global par habitant. Il n'a cependant fait que constater ces économies externes mais ne les a pas évaluées.

Aujourd'hui, le concept d'externalité est devenu extrêmement large et souvent imprécis. On peut définir les externalités comme les effets positifs ou négatifs qu'entraîne l'activité d'un agent économique à l'extérieur de cette activité ou que subit cet agent en provenance de l'extérieur. Ce sont des biens ou des charges extérieurs au marché. Marshall n'a mis en évidence que les effets extérieurs positifs. Les effets externes négatifs ont été mis en évidence par Pigou.

### b) Pigou et les déséconomies externes

En 1920, Pigou explique que la pollution est une déséconomie externe dans la mesure où les dommages qu'elle provoque ne sont pas directement pris en compte par le marché. Les déséconomies externes constituent donc un coût social non compensé, imposé à la collectivité, en-dehors de toutes transactions volontaires.

Cette notion traduit donc des conflits d'intérêts entre agents économiques sans que ces conflits s'expriment directement en terme monétaire. Les effets externes peuvent prendre quatre formes :

- ❖ les effets externes entre producteurs comme par exemple une usine polluant l'eau utilisée par une tannerie ;
- ❖ les effets externes de producteur à consommateur. C'est ce type de pollution qui nous intéresse dans la présente thèse ;
- ❖ les effets externes de consommateurs à producteur ;
- ❖ les effets externes entre consommateurs, qui peuvent être dus à la pollution ou aux phénomènes d'encombrement.

Pigou a proposé de régler le problème des externalités en les internalisant, c'est-à-dire en leur associant un quasi-prix. Ce n'est pas un vrai prix car il n'y a pas de marché : C'est un « *shadow price* ». C'est une taxe par unité de rejets égal au coût marginal de réduction de la pollution ( $t^* = Cm(P^*)$ ). Pour Pigou, « le seul instrument de mesure évidemment disponible dans la vie sociale est la monnaie ».

A partir de Pigou, la voie de l'intégration des biens d'environnement à la théorie économique était donc ouverte. Les économistes néo-classiques dès la fin des années 50 vont suivre les enseignements de Pigou en proposant de ramener au

moyen d'une taxe le niveau de production de l'activité génératrice de pollution au niveau compatible avec un optimum social de Pareto. Ce principe repose sur la théorie de l'agence. En effet, on considère le régulateur chargé de corriger la pollution acoustique comme un "planificateur bienveillant" (Principal) qui prend en compte les préférences individuelles des agents pour déterminer et mettre en œuvre l'optimum social.

Si lors de la régulation le Principal est un leader de Stackelberg, les Agents disposent d'un avantage informationnel qui prend la forme d'une information cachée dont dépend la politique de régulation. Les agents ont tout intérêt à manipuler l'information qu'ils communiquent aux autorités, de manière à minimiser le coût privé de la régulation. L'information devient ainsi une variable stratégique manipulable ouvrant la possibilité de passer des accords qui vont prendre la forme de contrats (juridiques ou non).

A cet égard, le problème est de construire des mécanismes qui remédient la pollution acoustique tout en minimisant non seulement le coût de réduction d'émission mais aussi les rentes versées aux agents en raison de l'asymétrie informationnelle. Ainsi, pour assurer une révélation correcte de l'information cachée il est nécessaire d'introduire plus d'un instrument (taxe, transfert). L'idée générale de la théorie de l'agence est que les mécanismes optimaux qui permettent de limiter les rentes informationnelles nécessitent une certaine perte d'efficacité, en assignant des efforts de réduction d'émission différents de ceux de la situation d'information parfaite. Les rentes informationnelles sont ainsi à la source d'un arbitrage entre l'efficacité et le coût de la régulation (Laffont et Martimort, 2001).

Pour réduire cette asymétrie d'information, il faut recourir au niveau des pollueurs à une certification de normes acoustiques ou à des mesures de pollution sonore à l'aide des sonomètres. Du côté des pollués, des techniques telles que la méthode des prix hédonistes et celle d'audiométrie permettent d'amoindrir l'asymétrie d'information concernant l'évaluation du niveau d'impacts de la pollution.

#### *IV.2.2. Principe de base des politiques anti-pollution: le principe du pollueur payeur*

Ce principe du pollueur payeur émane de la théorie néo-classique ; plus spécifiquement de son cadre des facteurs de production. Les ressources d'environnement (l'air, l'eau...) constituent un facteur de production exactement au même titre que les autres éléments entrant dans le processus de production (Raynauld et al.; 1989<sup>17</sup>).

Le facteur de production "environnement", plus précisément la dégradation de l'environnement serait rémunéré au même titre que les autres facteurs. Pour que les coûts des biens et services produits reflètent la rareté relative des ressources d'environnement, il faut donc que le pollueur prenne en charge les coûts de ces ressources. C'est cette règle d'équité qui se trouve à la base du principe du pollueur payeur. Le coût de la pollution doit être incorporé dans les coûts de production. Le pollueur doit internaliser les coûts de pollution. Avec cette internalisation il y a donc un « signal prix » qui est donné et le système économique peut réagir et s'adapter en conséquence. C'est l'OCDE qui a défini et recommandé depuis 1972 l'application du principe du pollueur payeur (PPP).

« Ce principe signifie que le pollueur devrait se voir imputer les dépenses relatives aux mesures arrêtées par les pouvoirs publics pour que l'environnement soit dans un état acceptable. En d'autres termes, le coût de ces mesures devrait être répercuté dans le coût des biens et services qui sont à l'origine de la pollution du fait de leur production et/ou de leur consommation. » OCDE.<sup>18</sup>

De là on peut remarquer cinq points ci-après :

- ❖ le principe du pollueur payeur n'implique pas forcément la prise en charge des coûts par le pollueur. Le pollueur peut répercuter ses coûts de production dans ses prix de ventes. On devrait plutôt parler de principe pollueur premier payeur. Ceci est très fréquent surtout dans les structures de marché de monopole ;

<sup>17</sup> Cité par Senghor 1997

<sup>18</sup> "Le principe du Pollueur Payeur, Définition, analyse, mise en Suvre".



- ❖ c'est au pouvoir public de déterminer qui est le pollueur, et partant le payeur ;
- ❖ le pollueur devra payer ce que le pouvoir public lui demande (normes, taxes, dédommagements...);
- ❖ le principe du pollueur payeur n'est pas un principe d'optimisation car n'implique pas obligatoirement une diminution de la pollution à un niveau optimal ;
- ❖ le principe du pollueur payeur n'est pas un principe général d'internalisation parce que les coûts de l'environnement peuvent aussi être internalisé au moyen de subventions ou de prime versé au pollueur.

Au total, le principe du pollueur payeur constitue un principe général d'allocation des coûts d'environnement. Il a été adopté comme principe de base des politiques d'environnement par les pays de l'OCDE par soucis d'uniformisation et de prévention de conflits. En effet, si chaque pays applique une politique différente il y aura forcément des distorsions et donc conflit en matière de commerce international.

Mais le principe du pollueur payeur n'a pas satisfait tous les auteurs néo-classiques. Coase propose l'approche connue dans la littérature sous le nom de Théorème de Coase.

### **IV.3. Théorème de Coase**

Coase invente le concept de coût de transaction. Il remet en question la tradition pigouvienne d'internalisation des externalités à partir d'une approche en terme de droit de propriétés.

#### ***IV.3.1. Notion de coût de transaction***

Coase (1937) introduit la notion de coûts de transaction en réponse à l'existence de firme et pas uniquement de petits entrepreneurs individuels. Par ce terme, il faut entendre l'ensemble des coûts liés à la mesure des échanges (coûts de négociation, coût de transaction des prix...) ainsi que ceux liés au droit de propriété (coût d'un avocat, coût d'un expert...). Ce sont donc les coûts d'accès au système de prix qui sont nuls dans la théorie néo-classique.

Ainsi avec ce concept, Coase (Op.cit) lie l'existence des firmes au fait que les coûts de transaction (les coûts d'accès au système de prix sur le marché externe) sont supérieurs pour l'obtention du même bien et du même service aux coûts d'organisations internes des firmes.

#### *IV.3.2. Mise en cause de la tradition pigouvienne*

Pour Coase (Op. cit), les problèmes d'environnement trouvent leur origine non pas dans de prétendus défauts du marché mais dans de réels défauts de droits de propriété. En l'absence d'une définition stricte de ces droits, la pollution a pour caractéristique un caractère réciproque: le pollueur a autant le droit de polluer que le pollué le droit de ne pas être pollué.

Il n'est pas pertinent de s'interroger comme le fait Pigou en terme de différence entre coût privés et coût social (cette différence devant être chez Pigou internalisé au moyen de la taxe). Pour Coase le critère pertinent pour apprécier la solution à apporter à un effet externe réside dans la maximisation de la valeur du produit collectif : seule l'efficacité de la solution proposée importe et non son caractère équitable. Le choix de la solution la plus efficace va dépendre chez Coase de la comparaison coût de transaction/coût d'organisation de l'administration. Cette comparaison a pour cadre le théorème de Coase: après une définition des droits de propriété sur l'environnement et en l'absence de coût de transaction, il y a un intérêt économique à ce que qu'une négociation s'instaure directement entre pollueur et victime de la pollution. Dans un tel cas, il est possible d'obtenir une allocation optimale des ressources sans intervention de l'Etat. Dans le monde réel, les coûts de transaction sont toujours positifs et Coase dégage deux cas possibles pour atteindre l'efficacité à partir de la comparaison entre les coûts de transaction et les coûts d'organisation de l'administration :

(i) les coûts de transaction (pour marchandiser la pollution entre pollueur et pollués) sont inférieurs aux coûts d'organisation de l'administration (pour définir le pollueur, évaluer monétairement le coût social, pour prélever la taxe et contrôler son application). Dans ce cas, il faut laisser faire le marché et les externalités disparaîtront au terme de la négociation des agents ;

(ii) les coûts de transaction sont supérieurs aux coûts d'organisation de l'administration. Dans ce cas l'Etat doit intervenir, y compris sous forme réglementaire.

#### *IV.3.3. Théorème de Coase et droits de propriété*

Selon Coase (1937), le simple établissement de droits de propriété, sans taxe fixée par l'Etat, devrait permettre la réalisation d'un optimum. Un droit de propriété donne le droit d'utiliser une ressource. Si les pollués disposent du droit de propriété, ils disposent du droit de ne pas être pollué. Si les droits de propriété sont conférés à la firme polluante, elle a le droit de polluer. Autrement dit, si la SONABEL et l'aéroport ont les droits de polluer, ils le feront dans la légitimité. Par contre, si le droit est du côté des riverains, ceux-ci ont le droit de ne pas être pollués.

Il y a deux possibilités concernant les droits de propriété :

(i) les pollués obtiennent le droit de propriété. Dans ce cas le pollueur doit soit être épuré soit racheté des droits de propriété (c'est-à-dire des droits à polluer) ;

(ii) la firme obtient les droits de propriété (elle a le droit de polluer). Dans ce cas, ce sont les pollués qui vont offrir des compensations à la firme pour qu'elle réduise son activité.

L'intervention de l'Etat est donc inutile dans la lutte contre la pollution car dans tous les deux cas les différents protagonistes vont négocier. Cette situation s'apparente à la régulation par le marché. Toutefois, lorsque le nombre d'agents impliqués devient élevé, la résolution devient compliquée ; compte tenu des problèmes inhérents à l'action collective.

L'hypothèse de base de la négociation bilatérale de Coase, peut être réglée par la formule de la nouvelle économie institutionnelle d'Olson Macur dans le cas où la pollution implique plus de deux personnes. En effet, elle postule que lorsque un groupe d'individus a le même intérêt, ils peuvent s'unir pour le défendre. C'est dans ce cadre que sont nés les syndicats. Dans le cadre de la défense des intérêts, le syndicat délègue ses dirigeants qui discuteront les clauses comme si c'était d'un

individu à un autre. En théorie, cette solution est analogue à celle issue du problème du Principal et multi-agents.

La première hypothèse trouve alors une solution. Les victimes de la pollution sonore peuvent alors entrer en pourparler avec les compagnies qui utilisent la plate aéroportuaire et/ou les autorités de la SONABEL qui, elles aussi, peuvent se faire représenter. C'est l'exemple de l'AFNOR en France dans le domaine de la pollution sonore, des ligues de consommateurs...

Mais l'inconvénient de cette solution est le problème de passager clandestin (free rider), d'aléa moral et d'asymétrie d'information. Il est reconnu, que dans ces cas d'espèce, l'action collective rencontre beaucoup de problème tel que celui des individus qui, dans un groupe veulent bénéficier des avantages de l'action collective sans participer financièrement ou physiquement à sa réalisation. Ce type de comportement est qualifié de passager clandestin.

Si un tel comportement existe au sein d'un groupe ayant pour vocation la défense des intérêts des pollués, la solution de l'action collective peut ne pas aboutir selon la deuxième hypothèse de Coase à savoir l'existence des coûts de transactions.

En présence du comportement de free rider, Nash à travers la théorie des jeux enseigne que deux situations peuvent se poser selon que le jeu soit unique ou répétitif. Si le jeu est unique alors l'action peut aboutir. Car l'asymétrie d'information peut pousser certaines personnes plus sensibles à mener l'action indépendamment des passagers clandestins. Par contre, s'il est répétitif, les uns et les autres tirant leçons du jeu précédent, seront réticents à participer à l'action collective.

#### **IV.4. Autres mécanismes de régulation**

Les autres formes d'internalisation en matière de nuisance sonore reposent sur la fixation des objectifs, des normes et des réglementations. C'est une conception qui s'appuie sur une tradition régaliennement solidement implantée dans les structures et les mentalités. En effet, « les instruments réglementaires s'inscrivent dans un cadre

législatif et réglementaire qui fixe les objectifs, les principes généraux, les procédures et instruments d'application. Ce cadre prend généralement la forme de lois spécifiques à chacun des domaines de l'environnement : loi sur l'eau, loi sur les pollutions atmosphériques, le bruit (Barde 1992)<sup>19</sup>. Au Burkina Faso, c'est le code de l'environnement<sup>20</sup> qui est la base des réglementations en matière de protection de l'environnement. Les bruits et nuisances y sont traités par les articles 69 à 71 de son chapitre 7.

Au plan international, le problème du bruit des aéronefs fait l'objet d'une réglementation par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I.). En effet, dans l'annexe 16, les aéronefs sont classés dans trois chapitres selon leur certificat du niveau de bruit :

- (i) le chapitre 1 regroupe les aéronefs ayant des licences délivrées avant 1970 (exemple le Boeing 707) ;
- (ii) le chapitre 2 regroupe les aéronefs ayant des licences délivrées entre 1970-1978 (exemple le Boeing 747-100/200s) ;
- (iii) le chapitre 3 regroupe les aéronefs ayant des licences délivrées après 1978 (exemple A 310 ; le Boeing 757 ; le Boeing 767 ; MD 83).

Ces chapitres sont classés selon la date de délivrance des licences avec un niveau de bruyance moins élevé pour des avions ayant des licences moins anciennes.

Les normes de certification acoustique furent élaborées en 1973 par le comité de l'OACI sur le bruit des aéronefs. Cependant, de nombreux avions plus anciens qui ne répondent qu'aux conditions du chapitre 2, sont encore en service, et sont nettement plus bruyants que ceux qui répondent aux conditions du chapitre 3. En 1990, l'assemblée de l'OACI a adopté une résolution qui prévoit le retrait progressif de ces avions.

Deux autres conceptions de l'internalisation viennent en complément de tous ces modes précédemment cités. Il s'agit d'une part, de l'approche économie écologique

---

<sup>19</sup> Cité par Ouédraogo (2001)

<sup>20</sup> La loi N°002/94/ADP du 19/01/94

développée par Georgescu-Roegen et Daly (1987) et d'autre part, de l'approche volontariste de la firme Börkey et al. (1997); Glachant (2002).

Pour le premier groupe et plus spécifiquement selon Georgescu-Roegen, la bio économie conçoit le processus économique comme une extension de l'évolution biologique. La philosophie de cette théorie est que l'espèce humaine est une espèce biologique confinée dans un environnement limité comme toutes les espèces terrestres. A l'intérieur de cet environnement limité, notre espèce est soumise aux contraintes imposées par les lois physico-chimiques dont la plus essentielle est la loi de l'entropie. Il a mis en évidence les conséquences de la thermodynamique sur le développement des sociétés humaines. Georgescu-Roegen fait des propositions :

- ❖ la nécessité d'aller vers la décroissance ;
- ❖ le refus des instruments économiques de gestion de l'environnement ;
- ❖ le principe de non regret et de minimisation des regrets futurs. Ce principe correspond au principe de prudence. Il doit servir de ligne de conduite aux activités humaines ;
- ❖ le retour aux matières issues du vivant (bio masse) et chercher à développer l'énergie solaire.

Pour le deuxième groupe, Glachant a développé l'approche volontariste des firmes à réduire ou à intégrer les coûts de la pollution dans leurs coûts privés. Cette procédure est de plus en plus fréquente dans le domaine du traitement des eaux usées, ou des autres déchets liquides. Aussi dans le domaine de la pollution acoustique, la recherche constante des appareils non bruyants tant au niveau de l'aviation que des centrales thermiques peut être rangée dans ce volet de réduction de la pollution. Dans le contexte du Burkina Faso, une des ces solutions est le recours à l'hydroélectricité soit par construction des barrages hydroélectriques, soit par interconnexion avec les pays voisins (Ghana, Côte d'Ivoire).

Au regard de cette revue théorique, il ressort que les problèmes de la pollution acoustique existent et ont été abordés par plusieurs chercheurs dans les pays de l'Amérique du Nord, en Europe, et en Asie. Chaque auteur s'intéresse à un volet précis : impact vénale (Nelson, 1980, 1981, 2004 ; Feitelson et al. 1996; Morell et al. 2000), à l'évaluation de la morbidité (Rozan, 2000) ou à l'estimation de la gêne

par la méthode dose réponse. Ainsi, ces différentes solutions ne répondent que partiellement aux objectifs de la présente thèse. En matière d'internalisation, il n'existe pas une solution unique. Il faut une combinaison de réglementations. A notre avis, un contrôle direct type norme OACI, réglementation des heures de vols et une taxe de nuisance s'avère nécessaire dans le cas des avions. En ce qui concerne la pollution de la centrale thermique, une taxation se traduira par une répercussion (transfert) de celle-ci sur les consommateurs. Un système de subvention et de réduction de l'activité des centrales thermiques est une solution envisageable. En somme, l'ultime solution est une bonne politique d'urbanisation et le recours aux centrales hydroélectriques.

### **Conclusion**

Le premier apport de ce chapitre est d'établir l'existence d'une multitude d'effets liés aux nuisances sonores. Ces effets vont de la perte de la valeur vénale des immobilisations, à la perte de productivité liée à l'immobilisation pour cause de maladie, en passant par la gêne due à la morbidité et à l'handicap social. Aussi, compte tenu de la nature du bien à étudier, il ressort que la théorie standard du consommateur est inadaptée pour cause de faillite de marché. Son extension permet par la théorie de Rosen de saisir par complémentarité faible la valeur du bien environnemental.

Le domaine de la pollution sonore est ainsi un cadre d'application de normes et d'intervention tutélaire qui relève de devoirs régaliens de l'Etat. Mais, pour une meilleure prise en compte des effets des nuisances sonores sur les populations riveraines, leur évaluation s'impose. Pour ce faire, un cadre théorique adéquat doit être adopté. C'est ce à quoi s'attèle le chapitre II.

---

## Chapitre II: Méthodes de recherche : Fondements de la stratégie de recherche, modèles et méthodes d'analyse

---

Ce chapitre aborde la pièce angulaire de toute recherche, car c'est autour de ce dernier que la rigueur scientifique de la recherche se détermine. Il s'articule autour de trois sections. Il présente tour à tour les fondements de la stratégie de la recherche (section 1), le cadre opérationnel utilisé (section 2) et les problèmes économétriques (section 3).

### I. Fondements de la stratégie de recherche

Cette section présente les méthodes (I.1.) et les modèles d'analyse (I.2.).

#### I.1. Méthodes d'analyse

La présente thèse cherche à comprendre le phénomène environnemental lié à la pollution sonore. Ceci fait intervenir plusieurs variables aussi bien quantitatives que qualitatives. Pour une meilleure compréhension, une approche systémique s'avère très importante. Ainsi, au regard des objectifs poursuivis, il paraît plus indiqué d'adopter la démarche socioéconométrique.

La socioéconométrie est une démarche qui procède à une systématisation et socialisation des faits économique afin de dégager l'existence et la nature des liens qui existent entre les différentes variables (Thiombiano, 2007). Bien que fondée sur la théorie économique, la socioéconométrie resitue le phénomène dans l'espace et dans le temps. Pour ce faire, elle analyse l'aspect culturel et comportemental de la société considérée ainsi que la dynamique d'évolution du système. Ainsi, la statistique descriptive et la méthode économétrique constituent les outils et surtout les deux étapes de cette démarche.

Aussi, son caractère d'approche de transdisciplinarité l'adapte mieux au contexte de la présente recherche. En effet, le croisement disciplinaire permet de bien cerner le phénomène de la pollution acoustique.



### *1.1.1. Analyse descriptive*

L'analyse descriptive permet d'une part, de justifier l'application du modèle des prix hédonistes ; et d'autre part, de répondre aux exigences de l'économie de l'environnement qui est une science pluridisciplinaire. Elle présente et visualise les phénomènes étudiés.

Au cours de cette étape, des tests bi-variés à travers le calcul des coefficients de corrélation ainsi que des tests de Khi Deux sont réalisés pour déterminer s'il existe une relation entre les variables. Pour ce faire, la variable gêne due au bruit est mise en relation avec les différentes variables sociodémographiques afin de mieux comprendre le phénomène du bruit. Cette partie prend fin avec la présentation des résultats des tests de Khi Deux entre la variable dépendante et les différentes variables exogènes.

A partir des données de l'échantillon, la démarche statistique permet d'avoir une image de la réalité pour l'ensemble de la population. La démarche consiste alors à tester le caractère explicatif ou non des différents facteurs psychosociologiques et socio-économiques susceptibles d'expliquer la gêne due au bruit des avions et des centrales thermiques de la SONABEL, exprimée par les riverains. Les facteurs " subjectifs " les plus significatifs de la gêne et de la qualité de vie sont alors retenus afin de proposer un modèle descriptif et explicatif de la gêne due à la pollution sonore.

Les tris croisés effectués entre indicateurs de gêne et de qualité de vie d'une part, et indicateurs objectifs d'environnement et de bruit d'autre part, permettent de dégager les indicateurs objectifs et subjectifs les plus explicatifs de la gêne et de la qualité de vie. L'analyse permet donc d'identifier un ensemble de facteurs objectifs et subjectifs susceptibles d'expliquer la variabilité interindividuelle de la gêne et de la qualité de vie mesurée. Ces indicateurs sont alors utilisés dans une approche multivariée, dans une finalité descriptive de la population enquêtée mais aussi explicative et prédictive de la gêne en fonction de ces indicateurs.

### ***1.1.2. Analyse factorielle***

L'analyse factorielle ou en composante principale vient conforter les tests et les tris croisés. Elle permet de déterminer les variables pertinentes à inclure dans l'analyse économétrique. C'est une méthode qui permet également de détecter la présomption de multicolinéarité.

En somme, l'analyse statistique permet davantage d'avoir les premières tendances des variables et de faire les premiers tests.

## **1.2. Modèles d'analyse**

Cette section se consacre à la présentation de la partie qui sert de base théorique à la résolution de nos questions spécifiques. Il passe en revue la théorie de bien être du consommateur et les approches probabilistes.

### ***1.2.1. Méthode des prix hédonistes***

Il est discuté dans cette partie le modèle de base des prix hédonistes et les différentes formes fonctionnelles utilisables.

#### **a. Exposition du modèle de base**

L'analyse de l'effet de la pollution sur la valeur vénale des immobilisations est dérivée à partir des prix hédonistes. Le support d'analyse, en l'occurrence les habitations, est un bien durable pour lequel l'approche de Lancaster ne s'applique pas. Le modèle qui sied est celui de Rosen. Ce modèle a deux phases. La phase initiale sert à estimer le prix marginal de l'attribut intéressé (ici c'est l'intensité du bruit ou le niveau de gêne). Ainsi, à ce stade, le modèle théorique qui sera retenu dans la présente recherche se présente comme suit.

On considèrera la fonction suivante de prix :

$$P_i = f_i(L, H, E) \text{ pour toute habitation } i \quad (2.1)$$

$L = L_{i1}, L_{i2} \dots L_{ij}$  la localisation, c'est-à-dire  $L_{ij}$  = caractéristique  $j$  de localisation de l'habitation  $i$ ;

$H = H_{i1}, H_{i2} \dots H_{in}$ , les caractéristiques habitables ; avec  $H_{in}$  = caractéristique  $n$  habitable de l'habitation  $i$ ;

$E = E_{i1}, E_{i2} \dots E_{im}$ , les différentes qualités de l'environnement.

Soit une fonction d'utilité d'un ménage donné :

$$U_i(x, L, H, E) \quad (2.2)$$

Le problème du ménage sera de maximiser  $U_i(x, L, H, E)$  sous contrainte du revenu ( $Y$ ):

$$Y_i = px + f_i(L, H, E) \quad (2.3)$$

où  $x = x_1, x_2 \dots x_n$  représentera l'ensemble des biens consommés;  $p$  représentera le vecteur prix et  $f(L, H, E)$  sera égal au loyer ou au coût mensuel ou annuel de l'habitation correspondant à  $\frac{\partial P_i}{\partial E_m}$ .

Le lagrangien associé à ce problème s'écrira alors :

$$L = U_i(x, L, H, E) + \alpha [Y_i - px - f_i(L, H, E)]$$

Les conditions du premier ordre permettront d'écrire :

$$\frac{\partial P_i}{\partial E_m} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{\partial U}{\partial E_m} \right) \quad (2.4)$$

où  $\frac{\partial P_i}{\partial E_m}$  sera le prix implicite de l'actif naturel,

$\alpha$  = multiplicateur de Lagrange

$$\frac{\partial U}{\partial E_m} = \text{utilité marginale de l'actif naturel}$$

Le prix de l'actif naturel sera donc fonction de  $E_m$ , c'est-à-dire  $\frac{\partial P_i}{\partial E_m} = f(E_m)$ .

Pour un ensemble d'habitations, le vecteur  $\frac{\partial P}{\partial E_m}$  sera alors :

$$\frac{\partial P}{\partial E_m} = f(E_m) \quad (2.5)$$

On utilise (2.5) pour calculer le prix implicite payé par chaque ménage. On régressera ensuite cette variable avec les quantités observées de  $E_m$  et les variables socio-économiques. Mais, les demandes inverses pour chaque ménage ne coïncideront plus et il faudra évaluer le consentement marginal à payer ( $CPM$ ). Ce  $CPM$  sera utilisé comme variable endogène pour estimer la fonction de demande inverse pour  $E_m$ . Nous aurons alors :

$$CPM = f(Y, E_m) \quad (2.6)$$

Ces deux étapes seront complétées par Brookshire et al. (1981)<sup>21</sup> par une troisième étape consacrée à l'estimation des bénéfices liés à une amélioration de l'environnement. Ainsi ce bénéfice s'exprimera :

$$\int CPM = f(\bar{Y}, E_m) \text{ avec } \bar{Y} = \text{revenu moyen des ménages.} \quad (2.7)$$

Les bornes correspondront aux états initial et final de la pollution sonore. Ces seuils peuvent correspondre aux différentes normes fixées par l'OMS.

Pour les besoins de cette étude, ce modèle est complété par l'estimation du coût social du bruit sonore. La méthode de calcul est inspirée de celle de Morrell et al. (2000) qui l'ont eux même adoptée de Levinson et al. (1997). Le coût social  $C_S$  est une fonction de l'indice du bruit en pourcentage ( $I_{NDI}$ ), de la rente annuelle d'une maison aux alentours de l'aéroport ( $P_v$ ), du niveau du bruit ambiant de la zone  $i$  ( $N_i$ ), du niveau de bruit résiduel ( $N_o$ ) ainsi que du nombre des résidents de la zone de bruit  $i$  ( $R_i$ ) :

$$C_S = f(I_{NDI}, P_v, N_i, N_o, R_i) \quad (2.8)$$

La qualité des résultats obtenus est très souvent tributaire de la forme fonctionnelle utilisée pour les dériver.

### **b. Spécification des formes fonctionnelles en économie de la consommation et leur application à la méthode des prix hédonistes**

Le choix d'une forme fonctionnelle qui puisse traduire le plus fidèlement possible les préférences du consommateur dans la théorie économique, est une opération

<sup>21</sup> Cité par Desaignes et Point (1993)

difficile. La théorie économique peut suggérer des relations entre les variables, mais ne précise pas la forme fonctionnelle qui les lie. Il existe fondamentalement trois domaines de choix possibles de formes fonctionnelles : la spécification ad hoc, celle dite structurée et la spécification flexible.

Dans la pratique, les analystes ont développé des critères de choix des formes fonctionnelles. Parmi ceux-ci, nous avons la consistance. La forme fonctionnelle ad hoc doit permettre de dériver des outils d'analyse de la fonction hédoniste compatible avec les propositions de la théorie économique du consommateur. La consistance théorique signifie que la forme fonctionnelle choisie doit être capable d'intégrer toutes les propriétés théoriques requises par la théorie du consommateur. Ainsi, pour que les paramètres estimés soient valides, la forme fonctionnelle doit, soit posséder intrinsèquement les propriétés théoriques de la fonction hédoniste, soit permettre de les imposer. Mais l'imposition des restrictions pose quelque fois des problèmes. Les restrictions théoriques conduisent souvent à des aberrations; il existe aussi des incompatibilités entre les restrictions théoriques. Pour remédier à ce problème, les chercheurs suggèrent que la forme fonctionnelle retenue soit conforme aux faits socioéconomiques. Cette conformité est à la base de la modélisation. En effet, un modèle est une représentation simplifiée de la réalité économique. Aussi, selon plusieurs auteurs (Thiombiano, 2007), la théorie économique est basée sur les faits économiques et sociaux. A cet égard, la forme fonctionnelle doit être en phase avec les faits empiriques connus et largement acceptés par les analystes. Cependant, il est à signaler, comme le soulignait Popper (cité par Thiombiano Op.cit), que la science en générale et l'économie en particulier avance par réfutation des théories existantes et par la construction de nouvelles théories qui résistent à la réfutation ; d'où le recours à la sociologie économique.

En pratique, les chercheurs aiment travailler avec des formes fonctionnelles flexibles car elles permettent une approximation plus satisfaisante des outils d'analyse de la fonction hédoniste. La forme Box-Cox permet d'obtenir une forme fonctionnelle satisfaisante conforme aux données. Bien que cette forme fonctionnelle intègre toutes les restrictions théoriques, elle n'est pas réaliste et les

paramètres estimés ne sont pas très solides. La prise en compte de tous ces critères dans une forme fonctionnelle se révèle très difficile.

### b<sub>1</sub>. Spécification ad hoc

Le principe de l'approche ad hoc consiste à partir de la théorie microéconomique pour déterminer un ensemble de relations de comportements. Cette spécification est utilisée en théorie du consommateur pour estimer les systèmes de demande de consommation. Il est très fréquent en consommation, comme c'est le cas dans la présente thèse, que l'intérêt soit porté seulement sur un produit. Dans ce cas, l'investigation sur le bien peut être faite en adoptant une forme relationnelle jugée appropriée. En coupe instantanée, les outils d'analyses utilisés en l'espèce sont l'effet revenu et l'importance de la courbe d'Engel. L'étude de Allen et Bowley (1935) basée sur un modèle linéaire, illustre ce type de pratique :  $x_i = a + by_i$  avec :

$x_i$  = dépense en bien  $X$  de l'individu  $i$

$y_i$  = le revenu de l'individu  $i$

$a$  et  $b$  les paramètres avec  $b > 0$  et  $a \neq 0$

L'élasticité revenu est dans ce cas :  $\eta_{iy} = \frac{\partial x_i}{\partial y_i} \times \frac{y_i}{x_i} = \frac{1}{\frac{a}{b} \times \frac{1}{y_i} + 1}$  (2.9)

L'élasticité revenu permet de mesurer l'impact d'une variation du revenu sur la consommation d'un bien ou d'un service.

Parmi les restrictions théoriques, seule l'agrégation d'Engel (exhaustivité)<sup>22</sup> est vérifiée dans ce modèle.

L'étude de Prais et Houthakher (1955) va loin en dégagant les formes fonctionnelles adaptées aux différents types de biens en partant de quatre formes fonctionnelles<sup>23</sup>. Ainsi, cette étude montre que la forme semi-log est appropriée à l'alimentation tandis que le double log est approprié pour les autres biens.

<sup>22</sup> Répartition d'une unité monétaire additionnelle entre le bien étudié et le reste.

<sup>23</sup> Double log, semi-log, hyperbolique et log-réciproque.

Les trois formes fonctionnelles les plus couramment utilisées dans les articles scientifiques sur la régression hédoniste sont les formes log-log, semi-log et linéaire.

### b<sub>2</sub>. Forme double logarithmique

La fonction de prix hédoniste selon Diewert (2001) peut s'écrire :  $P_k = \rho f(z_k)$

où  $\rho$  = prix agrégé d'une unité de la caractéristique  $Z$  et  $P_k$  = prix hédoniste de la maison  $k$ .

Dans le modèle log-log, la fonction d'agrégation hédoniste  $f$  est définie par son logarithme comme suit :

$$\ln f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln z_i \quad (2.10)$$

où les  $\alpha_i$  sont les paramètres inconnus à estimer. En prenant la fonction de prix hédoniste et en ajoutant le terme d'erreur  $\varepsilon_k$ , nous obtenons la forme économétrique de régression hédoniste ci-après :

$$\ln P_k = \beta_k + \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln z_{ik} + \varepsilon_k \quad (2.11)$$

où  $\beta_k = \ln \rho_k$  avec  $k = 1, \dots, T$ . L'identification de tous les paramètres n'est possible qu'en normalisant  $\beta_k$  et  $\alpha_0$ . Généralement, on pose  $\beta_1 = 0$ . Cette forme fonctionnelle permet l'incorporation de l'homogénéité linéaire, c'est-à-dire des rendements d'échelle constants dans la fonction de sous-utilité hédoniste  $f(z)$ .

Pour le faire, on pose :  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ .

### b<sub>3</sub>. Forme semi-logarithmique

De façon générale, le logarithme de la fonction hédoniste  $f(z)$  s'écrit :

$$\ln f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i \quad (2.12)$$

Le modèle économétrique de la fonction de prix hédonistes dans ce cas est :

$$\ln P_k = \beta_k + \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i + \varepsilon_k \quad (2.13)$$

Ici également, pour pouvoir déterminer tous les paramètres, nous devons normaliser  $\beta_k$  et  $\alpha_0$  comme précédemment.

Ce modèle présente un inconvénient par rapport au modèle log-log : il n'est pas possible d'imposer des rendements d'échelle constants à la fonction semi-log. En revanche, il a un avantage sur le modèle double log, étant donné que le modèle semi-log peut prendre en charge les situations dans lesquelles une ou plusieurs caractéristiques  $Z_{ik}$  sont nulles ( $Z_{ik} = 0$ ), ce que ne peut faire le modèle log-log. Cela est important puisque dans les pays en développement, certaines caractéristiques d'habitation sont nulles (douche interne, cuisine interne ...).

#### b4. Forme linéaire

La fonction hédoniste  $f(z)$  dans le modèle linéaire, est une fonction linéaire simple des caractéristiques :

$$f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i \quad (2.14)$$

L'identification de tous les paramètres exige ici aussi la normalisation des  $\alpha_i$ . La forme linéaire prend en charge sans difficulté les caractéristiques nulles ainsi que les rendements d'échelle constants.

En résumé, il apparaît qu'aucun de ces trois modèles n'est réellement meilleur à l'autre; chacun a au moins un avantage par rapport à l'autre. Ces modèles ne peuvent fournir qu'une approximation linéaire et non quadratique. La prise en compte de cette forme quadratique est faite par les formes flexibles.

#### b5. Forme Box-Cox

La transformation de Box-Cox est généralement considérée comme une forme fonctionnelle flexible bien adaptée pour estimer les modèles hédoniques. D'une façon générale, la transformation de Box-Cox d'une variable  $z$  notée  $z(\lambda)$  est donnée par le système :

$$z(\lambda) = \begin{cases} \frac{z^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \ln(z) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.15)$$



## b.6. Formes flexibles

Dans la théorie de la demande normale du consommateur, il est habituellement souhaitable que la forme fonctionnelle de la fonction d'utilité ou sa représentation duale soit flexible. Une forme flexible est une approximation d'une fonction arbitraire d'utilité, deux fois continuellement différentiable, au deuxième ordre. Dans les articles scientifiques sur les régressions hédonistes, il n'est pas exigé que la forme fonctionnelle de la fonction d'utilité soit flexible (Diewert, 2001). Cela est probablement dû au problème de multicolinéarité ; puisque le recours aux formes flexibles peut entraîner un grand nombre de paramètres inconnus difficiles à estimer de façon exacte.

### (i) Forme fonctionnelle translogarithmique

Introduite par Christensen, Jorgenson et Lau (1975), la forme fonctionnelle translogarithmique généralise la fonction d'agrégation hédoniste double log précédente. Elle peut s'écrire comme suit :

$$\ln f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln z_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln z_i \ln z_j \quad \text{avec } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (2.16)$$

où les  $\alpha_i$  et les  $\gamma_{ij}$  sont les paramètres à estimer. En appliquant cette forme au prix hédoniste et en ajoutant les termes d'erreur nous avons :

$$\ln P_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln z_{ik} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln z_{ik} \ln z_{jk} + \varepsilon_k \quad (2.17)$$

où  $\beta_t = \ln \rho_t$  pour  $t = 1, 2, \dots, T$ . Pour identifier tous les paramètres, il est nécessaire de normaliser comme pour les autres formes précédentes  $\beta_t$  et  $\alpha_0$ . Cette forme fonctionnelle permet d'incorporer une homogénéité linéaire dans la fonction d'utilité en imposant  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  et en appliquant les restrictions

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} = 0 \quad \text{pour } i = 1, 2, \dots, n. \quad \text{Aussi, elle a des propriétés intéressantes telles que la}$$

linéarité en fonction des paramètres, de sorte qu'il est possible de les estimer par la technique de régression linéaire. L'imposition des rendements d'échelle constants à la fonction d'utilité ne supprime pas la flexibilité de la forme fonctionnelle.

Le principal inconvénient du modèle hédoniste translogarithmique est que, comme le modèle double log, il ne permet pas de prendre en compte le problème du nombre nul de caractéristique, c'est-à-dire une modalité nulle pour une variable donnée.

### (ii) Modèle hédoniste quadratique semi- logarithmique

Elle est la généralisation du modèle hédoniste semi-logarithmique. La forme générale se présente de la manière suivante :

$$\ln f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln z_i \ln z_j \quad \text{avec } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (2.18)$$

où les  $\alpha_i$  et les  $\gamma_{ij}$  sont les paramètres à estimer. En l'appliquant au prix hédoniste, le modèle économétrique obtenu est :

$$\ln P_k = \beta_i + \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_{ik} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln z_{ik} \ln z_{jk} + \varepsilon_k \quad (2.19)$$

Ce modèle a un inconvénient sur le modèle précédent puisqu'il ne permet pas d'imposer les rendements d'échelle constants à la fonction d'utilité. Cependant, son avantage est la prise en charge des caractéristiques prenant la valeur nulle.

### (iii) La forme fonctionnelle linéaire généralisée

Comme son nom l'indique, elle est la forme généralisée de la forme linéaire. Elle s'écrit :

$$f(z_1, \dots, z_n) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i (z_i)^{1/2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} (z_i)^{1/2} (z_j)^{1/2} \quad \text{avec } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (2.20)$$

La fonction de prix hédoniste sous forme économétrique obtenue dans ce cas est :

$$P_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i (z_{ik})^{1/2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} (z_{ik})^{1/2} (z_{jk})^{1/2} + \varepsilon_k \quad \text{avec } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (2.21)$$

## b7. Formes structurées

En théorie de la consommation, Stone (1954) est le premier économiste à estimer un système d'équations de demande dérivées explicitement de la théorie du consommateur en utilisant le modèle Linear Expenditure System (LES) proposé

par Klein et Rubin (1948) et Samuelson (1948). La limite de cette forme fonctionnelle est que la demande des biens dépend linéairement du revenu :

$$p_i q_i = p_i \gamma_i + \beta_i y \quad (2.22) \quad \text{avec :}$$

$p$  = vecteur prix des biens et

$q$  = vecteur quantité des biens demandés

D'autres spécifications de systèmes ont été par la suite proposées, dont les plus utilisées comportent des formes flexibles. Toutes ces formes fonctionnelles sont relatives aux systèmes de demande. Cependant, en théorie de la consommation, on peut s'intéresser à un seul bien comme c'est le cas dans la présente recherche.

Il est à signaler que la présente thèse s'intéresse à un bien et non à un système de demande de biens : d'où la non nécessité de recourir aux formes conduisant au système de demande.

### **8. Choix de la forme fonctionnelle la plus adaptée pour représenter la fonction hédoniste**

L'analyse des formes fonctionnelles les plus utilisées pour représenter la fonction hédoniste, nous permet de choisir la forme semi-logarithmique comme la plus réaliste pour un ajustement des prix hédonistes des ménages riverains. Du point de vue théorique, la forme fonctionnelle semi-logarithmique possède intrinsèquement toutes les restrictions théoriques requises par la fonction hédoniste. Le choix de cette forme fonctionnelle évite d'imposer des restrictions arbitraires au modèle de préférences du consommateur. Du point de vue empirique, la forme semi-logarithmique est l'une des plus utilisées pour l'approximation de la fonction de prix hédoniste. En effet, la forme semi-logarithmique qui correspond à la forme de Box-Cox où le paramètre de la variable dépendante est nul et les paramètres des variables explicatives prennent la valeur unité, a été utilisée dans des études similaires à la nôtre (Espey et al., 2000 ; Brooskire et al., 1981). Elle est flexible et permet une estimation aisée des paramètres de la fonction hédoniste.

Cette forme fonctionnelle est donc retenue dans la présente recherche pour dériver le prix implicite du bruit. Mais, comme signalé plus haut, la méthode du prix hédoniste ne prend en compte que la valeur d'usage d'un bien. Or, le bruit est un

phénomène complexe qui, en plus de son effet sur la valeur des logements, peut agir sur le capital humain. Les effets de la pollution sur la santé de la population se traduisent en terme de morbidité ou de mortalité. Ils sont approchés en théorie par la théorie du capital humain.

### 1.2.2. Théorie du capital humain

L'autre grande conséquence de la pollution sonore est la morbidité avec son corollaire de perte de productivité.

Ainsi, à la suite des travaux de pionniers tel que Grossman (1972) qui ont appliqué la théorie du capital humain au domaine de la santé, le lien entre la santé et la productivité du travail a été clairement mis en évidence par la théorie économique (Mocan et al. 2004 ; Bloom et al. 2000, 2002). Tel qu'il ressort, la théorie du capital humain à travers les concepts de morbidité est nécessaire pour résoudre la présente problématique. Pour ce faire, nous avons procédé à des bilans audiométriques et à une enquête auprès des riverains.

#### a. Les indicateurs statistiques du problème sanitaire de la pollution sonore

Les indicateurs suivants seront construits pour appréhender l'effet de la pollution sonore sur la santé de la population :

(i) *La proportion des individus* ayant des problèmes de surdité et d'hypertension au sein de l'échantillon est obtenue à partir de la moyenne pondérée des

$$\text{proportions de chaque type de source de pollution : } P = \frac{\sum P_{ik} N_i}{N} \quad (2.23).$$

où  $N$  est la taille totale de l'échantillon.

(ii) Selon Savadogo et al. (2006), l'*indice de santé (IS)* est la somme du temps perdu par des actifs malades (*TPAM*) et de celui des accompagnants de malades (*TPACM*). D'où :  $IS = TPAM + TPACM$  (2.24)

(iii) *Le taux de morbidité*. Il est calculé par le rapport du nombre de personnes ayant été malades durant les 15 jours précédant l'enquête sur le nombre total de

personnes enquêtées. Il s'agit donc d'une mesure se référant à un point précis, le moment de l'enquête. On peut calculer un taux relatif à la population active, un indicateur pouvant expliquer la perte de productivité et de recette dans une population.

A l'issue de ces bilans de santé et des statistiques descriptives, nous dégagerons d'une part, l'incidence sanitaire de la pollution sonore ; et d'autre part, le coût social qui y est associé. Le modèle de Poisson sera utilisé afin de dégager les facteurs explicatifs de cette incidence, notamment le problème auditif.

### **b. Approche économétrique du problème auditif : le modèle de comptage**

Afin de dégager les facteurs explicatifs du problème auditif des populations riveraines des sources polluantes, faisant objet de notre étude, nous recourrons au modèle de comptage. Dans ce modèle, la variable endogène prend de petites valeurs positives. Dans le cadre de cette thèse, cette variable discrète est le nombre d'oreilles atteintes par une perte auditive pour une personne donnée. Pour un individu  $i$  donné, il peut souffrir d'une surdité unilatérale, bilatérale ou pas du tout. Ainsi, la variable dépendante est une variable de comptage à savoir 0, 1, 2 oreilles atteintes.

Dans la littérature économétrique, la loi de Poisson est le modèle de base pour la représentation et l'analyse des données de comptage. La probabilité pour qu'un individu  $i$  ait  $y$  oreilles souffrant de surdité est donc :

$$P(y_i = y) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!}; \lambda \in N, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.25)$$

où  $\lambda$  est le paramètre de la distribution de Poisson, tel que :

$$E(y_i) = V(y_i) = \lambda \quad (2.26)$$

Comme  $\lambda$  est restreint à être positif, la paramétrisation la plus couramment utilisée est la suivante :  $\lambda_i = e^{x_i \beta} \Rightarrow \log \lambda_i = x_i \beta$  (2.27)

où  $x_i$  est un vecteur  $(1, p)$  variables exogènes associé au vecteur de paramètres  $\beta(p, 1)$ . Le choix de la spécification log-linéaire s'explique alors essentiellement par la nécessité d'avoir des paramètres  $\lambda_i$  positifs. Les avantages de cette forme

fonctionnelle sont analogues à ceux du modèle économétrique habituel de la régression ; en particulier :

$$\begin{aligned} E(y_i/x_i) &= \lambda_i = e^{x_i\beta} \\ \Leftrightarrow \text{Log}(y_i/x_i) &= x_i\beta \end{aligned} \quad (2.28)$$

$\beta$  s'interprétera comme une élasticité lorsque les variables exogènes ( $x_i$ ) sont en logarithme. Toutefois, contrairement aux modèles log-linéaires traditionnels,  $\beta$  n'est pas l'élasticité de la variable endogène, mais de son espérance mathématique.

Les effets marginaux d'une telle formulation sont :

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(y/x)}{\partial x_j} &= \beta_j e^{(x\beta)} \\ \text{ou } \beta_j &= \frac{\partial E(y/x)}{\partial x_j} \frac{1}{E(y/x)} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Pour un échantillon de  $n$  individus, le modèle de comptage de Poisson peut *a priori* être estimé par les moindres carrés non linéaires ou par la méthode du maximum de vraisemblance.

L'estimation de  $\beta$  par la méthode du maximum de vraisemblance consiste en une fonction :

$$L = \prod_i P(y_i) \quad (2.30)$$

En remplaçant  $P(y_i)$  par son expression de (2.25) dans (2.30) on obtient :

$$L = \prod_i \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (2.31)$$

La log-vraisemblance de cette spécification est :

$$\begin{aligned} \log L &= \sum_i^n \{-\lambda_i + y_i \log \lambda_i - \log(y_i!)\} \\ &= \sum_{i=1}^n \{-e^{x_i\beta} + y_i \log \lambda_i - \log(y_i!)\} \\ &= \sum_{i=1}^n \{-e^{x_i\beta} + y_i x_i \beta - \log(y_i!)\} \\ &= -\sum_{i=1}^n e^{x_i\beta} + \sum_{i=1}^n y_i x_i \beta - \sum_{i=1}^n \log(y_i!) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Les équations de vraisemblance sont :

$$\frac{\partial \log L}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n x_i (y_i - e^{x_i\beta}) \quad (2.33)$$

L'estimateur du maximum de vraisemblance  $\hat{\beta}$  de  $\beta$  est solution des équations suivantes des moments empiriques (Lee, 1986 ; Ambapour, 2001) :

$$\sum_{i=1}^n x_i' y_i = \sum_{i=1}^n x_i' e^{x_i \beta} \quad (2.34)$$

Le Hessien est donné par :

$$\frac{\partial^2 \log L}{\partial \beta \partial \beta} = - \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i' x_i \quad (2.35)$$

Le Hessien est défini négatif pour  $x$  et tout  $\beta$ . On en déduit la matrice de variance-covariance asymptotique estimée de l'estimateur du maximum de vraisemblance :

$$\left[ - \sum_{i=1}^n \hat{\lambda}_i x_i' x_i \right]^{-1} \text{ avec } \hat{\lambda}_i = e^{x_i \hat{\beta}} \quad (2.36)$$

Mais, certains auteurs estiment l'hypothèse selon laquelle :

$E(y_i/x_i) = V(y_i/x_i) = \lambda_i$  peu réaliste; c'est-à-dire que conditionnellement à  $x_i$ , la variance de l'observation  $y_i$  ne peut varier indépendamment de sa moyenne. Pour pallier ce handicap, des tests de la surdispersion (la variance supérieure à la moyenne), et des spécifications alternatives ont été proposés. La spécification la plus souvent utilisée est celle du modèle de régression de la loi binomiale négative (ou modèle NegBin, Negative Binomial Model) introduite par Hausman, Hall et Griliches (1984). Dans cette modélisation,  $y_i$  suit toujours une loi de Poisson mais son espérance mathématique est entachée d'un terme d'erreur noté  $\varepsilon_i$ . Ce dernier traduit diverses erreurs dans la spécification, comme l'oubli des variables explicatives indépendantes des variables  $x_i$ , ou encore l'hétérogénéité non observable qui caractérise souvent les données individuelles ;  $y_i$  suit donc une loi de Poisson de paramètre :

$$\begin{aligned} \mu_i &= e^{x_i \beta + \varepsilon_i} \\ &= \lambda_i e^{\varepsilon_i} \end{aligned} \quad (2.37)$$

En posant  $u_i = e^{\varepsilon_i}$ , la distribution  $y_i$  qui est maintenant conditionnée à  $x_i$  et à  $u_i$  suit toujours une loi de Poisson :

$$P(y_i = y/x_i, u_i) = \frac{e^{-\lambda_i u_i} (\lambda_i u_i)^y}{y!} \quad (2.38)$$

Mais, la densité de  $y_i$  sachant  $x_i$  est obtenue en prenant l'espérance de l'expression (2.22) par rapport à la densité de  $u_i$  :

$$\begin{aligned} P(y_i = y/x_i) &= \int_0^{+\infty} P(y_i = y/x_i, u_i) g(u_i) du_i \\ &= \int_0^{+\infty} \frac{e^{-\lambda_i u_i} (\lambda_i u_i)^y}{y!} g(u_i) du_i \end{aligned} \quad (2.39)$$

On fait l'hypothèse que  $u_i$  suit une loi gamma  $\gamma(\delta, \delta)$ ,  $\delta > 0$  de densité  $g(u_i)$ , d'espérance  $E(u_i) = 1$ , sans perte de généralité tant que  $x_i$  contient un terme constant et de variance  $V(u_i) = 1/\delta$ . Avec cette normalisation,

$$g(u_i) = \frac{\delta^\delta}{\Gamma(\delta)} e^{-\delta u_i} u_i^{\delta-1} \quad (2.40)$$

et

$$\begin{aligned} P(y_i = y/x_i) &= \int_0^{+\infty} \frac{e^{-\lambda_i u_i} (\lambda_i u_i)^y}{y!} \frac{\delta^\delta}{\Gamma(\delta)} e^{-\delta u_i} u_i^{\delta-1} du_i \\ &= \frac{\delta^\delta \lambda_i^y}{\Gamma(y+1)\Gamma(\delta)} \int_0^{+\infty} e^{-(\lambda_i + \delta) u_i} u_i^{(y+\delta-1)} du_i \\ &= \frac{\delta^\delta \lambda_i^y \Gamma(y+\delta)}{\Gamma(y+1)\Gamma(\delta)(\lambda_i + \delta)^{\delta+y}} \\ &= \frac{\Gamma(y+\delta)}{\Gamma(y+1)\Gamma(\delta)} \left[ \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \delta} \right]^y \left[ \frac{\delta}{\lambda_i + \delta} \right]^\delta \end{aligned} \quad (2.41)$$

Ainsi, la variable  $y_i/x_i$  suit une loi binomiale négative de paramètres  $(\lambda_i, \delta)$ . Les premiers moments de cette loi sont :

$$\begin{aligned} E(y_i/x_i) &= \lambda_i \\ V(y_i/x_i) &= \lambda_i \left[ 1 + \frac{\lambda_i}{\delta} \right] \end{aligned} \quad (2.42)$$

Le modèle NegBin peut être estimé par le maximum de vraisemblance. La spécification de Poisson est testée par l'hypothèse nulle  $H_0 : \delta = 0$  en utilisant soit la statistique de Wald, soit le test du rapport de vraisemblance, ou encore le test du multiplicateur de Lagrange (Greene, 2000).

En sus de la perte de la valeur vénale des immobilisations et des effets sur l'audition des riverains, les autres effets de la pollution sonore se traduisent par un niveau de gêne ressentie par les populations riveraines. Ce niveau de gêne étant



appréhendé par des valeurs qualitatives ordonnées, alors le probit multinomial ordonné permet de dégager les différentes variables pertinentes susceptibles d'expliquer la gêne exprimée par les enquêtés.

### I.2.3. Modèle probit multinomial

Dans l'analyse économétrique des phénomènes économiques, il est de plus en plus courant que la variable endogène soit une variable qualitative. Dans de pareilles situations, on recourt aux modèles probabilistes que sont généralement le logit, le probit et le tobit. On croise généralement ces modèles dans les cas de choix binaire ou multinomial. Ces modèles se fondent sur une variable latente. Ainsi, pour le cas d'une variable binaire nous avons :

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{si } y^* > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2.43)$$

Ce modèle n'est applicable qu'aux choix à deux modalités. Si l'agent économique fait face à des choix multinomiaux, ceux-ci peuvent être ordonnés ou non. Dans le premier cas, la variable endogène représente un rang (niveau), par exemple l'opinion d'un individu sur le niveau de gêne ressentie. Dans ce modèle, les valeurs prises par la variable expliquée dépendent des intervalles dans lesquels on trouve une variable latente continue. Pour l'évaluation du niveau de gêne ressentie par les riverains, des niveaux de gêne ( $Y_i$ ) allant de 0 à 10 sont donnés et on recherche un modèle explicatif. Le recours aux MCO pour l'estimation de ce modèle est illicite car la variable explicative est ordinale. C'est-à-dire que l'on ne peut pas considérer les passages des niveaux 0 à 1 et de 9 à 10 comme identiques. Le modèle probit à choix multiples ordonnés, où la probabilité de donner un niveau de gêne est conditionnée à un ensemble de variables explicatives, est approprié dans ce cas.

Soit une variable latente continue  $Y_i^*$ , par exemple la variation du niveau de bien-être des populations qui dépend d'un certain nombre de variables :  $X_1, X_2, \dots, X_k$  et un terme aléatoire  $\varepsilon_i$ . En supposant que la relation ne comporte pas de constante (Araujo et al, 2004) nous avons :

$$Y_i^* = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k + \varepsilon_i \quad (2.44)$$

Soient  $S_1 < S_2 < \dots < S_8 < S_9$ , des seuils au-delà desquels le niveau de gêne ressentie change :

$$Y_i = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_i^* \leq 0 \\ 1 & \text{si } 0 < Y_i^* \leq S_1 \\ \vdots & \\ 9 & \text{si } S_8 < Y_i^* \leq S_9 \\ 10 & \text{si } S_9 < Y_i^* \end{cases} \quad (2.45)$$

Dans l'hypothèse que  $\varepsilon_i$  suit une loi normale centrée réduite, le probit peut s'écrire :

$$\begin{aligned} P(Y_i = 0) &= \Phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \\ P(Y_i = 1) &= \Phi(S_1 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) - \Phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \\ P(Y_i = 2) &= \Phi(S_2 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) - \Phi(S_1 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \\ &\vdots \\ P(Y_i = 9) &= \Phi(S_9 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) - \Phi(S_8 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \\ P(Y_i = 10) &= 1 - \Phi(S_9 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \end{aligned} \quad (2.46)$$

La fonction de vraisemblance du modèle est :

$$\begin{aligned} L &= \prod_{i=1}^N \left[ \Phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \right]^{y_{i0}} \\ &\quad \times \left[ \Phi(S_1 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) - \Phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \right]^{y_{i1}} \\ &\quad \times \dots \times \left[ 1 - \Phi(S_9 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \right]^{y_{i10}} \end{aligned} \quad (2.47)$$

avec :

$\Phi(\cdot)$  = fonction de répartition de la loi normale centrée réduite ;

$y_{ij}$  = une variable prenant la valeur 1 si l'individu  $i$  donne un niveau de gêne  $j$  et 0

sinon.

$N$  = taille de l'échantillon

L'ensemble des paramètres  $(S_1, S_2, \dots, S_9, \beta_1, \dots, \beta_k)$  est obtenu par maximisation de la fonction de vraisemblance (Wooldridge, 2000)<sup>24</sup>.

Les effets marginaux de  $X_i$  sur la probabilité d'obtenir les valeurs extrêmes  $Y_i$  sont a priori connus. En effet, l'effet marginal de  $X_i$  sur la probabilité d'obtenir le niveau de gêne la plus élevée est de même signe que  $\beta_i$  tandis que l'effet marginal sur la probabilité d'obtenir la valeur la plus faible est de signe opposé. Mais, pour les valeurs intermédiaires de la variable endogène, le signe de l'effet marginal n'est pas forcément conforme à celui du coefficient, la quantité entre crochets étant de signe indéterminé : d'où la délicatesse de l'interprétation des coefficients du modèle initial. L'estimation des coefficients seule est insuffisante. Il faut donc recourir au calcul des effets marginaux pour mieux interpréter le phénomène dans de pareils modèles.

Dans ce type de modèle, les effets marginaux sont obtenus par dérivation des probabilités conditionnelles par rapport aux variables  $X_i$ . Nous avons alors :

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(Y_i = 0)}{\partial X_i} &= -\beta_i \phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \\ \frac{\partial P(Y_i = 1)}{\partial X_i} &= \beta_i [\phi(-\beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) - \phi(S_1 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k)] \\ &\vdots \\ \frac{\partial P(Y_i = 10)}{\partial X_i} &= -\beta_i \phi(S_9 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \dots - \beta_k X_k) \end{aligned} \quad (2.48)$$

Il est à noter une différence de calcul de ces effets marginaux selon la nature de la variable explicative. Ainsi, pour les variables continues, l'effet marginal d'une variation d'une unité de la  $k^e$  variable explicative  $X_i^k$  sur la probabilité que l'individu  $i$  adopte la  $j^e$  modalité se calcule comme suit :

$$\frac{\partial P(y_i = j)}{\partial X_i^k} = p_{ij} \left( \beta_j^k - \sum_{z=0}^m P_{iz} \beta_z^k \right) \quad (2.49)$$

avec :  $p_{ij} = P(y_i = j)$

<sup>24</sup> Cité par Araujo et al. op.cit.(2004)

On peut aussi interpréter l'effet marginal moyen pour l'ensemble de l'échantillon

$$\text{de taille } N : EmM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\partial P(y_i = j)}{\partial X_i^k} \quad (2.50)$$

Quant à l'effet marginal associé à la variable dichotomique  $X_i^k$  sur la probabilité que l'individu  $i$  choisisse la modalité  $j$ , il s'obtient par la formule :

$$Em_i = P(y_i = j / X_i^k = 1) - P(y_i = j / X_i^k = 0) \quad (2.51)$$

De là, nous pouvons déduire un effet marginal moyen pour un échantillon donné :

$$EmM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Em_i \quad (2.52)$$

En somme, compte tenu de la forme catégorielle de la variable endogène, c'est-à-dire que le niveau de gêne est une variable multinomiale ordonnée prenant les valeurs situées sur une échelle à 11 points (de 0 à 10 ; avec 0 correspondant à "pas du tout gêné" et 10 à "extrêmement gêné"), alors le modèle probit multinomial permet de déterminer les différentes variables explicatives du niveau de gêne ressentie par les populations riveraines.

## II. Cadre opératoire

Cette section présente les différentes variables retenues pour chacun des modèles qui servent à tester les hypothèses formulées dans cette recherche.

### II.1. Valorisation de la pollution sonore des avions et de la centrale thermique par la méthode des prix hédonistes

L'approche économétrique utilisée par Brooskshire et al. (op. cit.), dans l'étude du différentiel de prix des habitations et la qualité de l'air est développée en quatre étapes : estimation de la fonction de prix hédoniste, évaluation du consentement marginal à payer pour une petite variation de l'intensité du polluant, construction de la fonction de demande et estimation des bénéfices liés à une amélioration de la qualité sonore.

### II.1.1. Estimation de la fonction de prix hédoniste

Théoriquement, avec une forme fonctionnelle semi-logarithmique on a

$$\log P = \beta_0 + \sum_{i=1}^{14} \beta_i X_i + \beta_{E_m} E_m + u \quad (2.53)$$

avec  $E_m = N_i$  et ceci est valable pour toute la suite.

La variable dépendante est le logarithme du prix de vente de l'habitation. Les variables indépendantes ( $X_i$ ) sont les quatorze (14) variables de l'offre (date de vente, âge, salle de bain, surface habitable, piscine, cheminées, distance à la plage, qualité scolaire, ethnie, densité de population, distance emploi, dépense de sécurité publique, criminalité, log (taxe) et le carré du polluant : l'intensité du bruit ( $N_i$ )).

### II.1.2. Evaluation du consentement marginal à payer

Le consentement marginal à payer est obtenu en dérivant comme dans (2.4) la fonction de prix hédoniste par rapport à l'intensité du bruit. On l'estime dans une communauté pour obtenir le montant moyen que chaque ménage est prêt à payer. On obtient alors :

$$\frac{\partial P_i}{\partial N_i} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{\partial U}{\partial N_i} \right) \quad (2.54)$$

Empiriquement, dans le domaine de la pollution sonore, seulement quelques études ont atteint la seconde étape avec l'estimation de la fonction de demande inverse (Day et al. 2006, cité par Nelson 2007). Beaucoup d'auteurs estiment que la première étape suffit pour mesurer le bien-être dans le cas d'une externalité localisée. On entend par externalité localisée, une situation dans laquelle la variation du facteur environnemental (pollution sonore dans cette étude) affecte un nombre assez réduit de logements par rapport au marché immobilier (Palmquist, 1992a ; 1992b). Ceci n'est pas le cas dans la présente recherche car comme l'indique le graphique 3, la zone sous bruyance des avions et des centrales thermiques n'est pas négligeable.

### II.1.3. Construction de la fonction de demande inverse

Elle est obtenue par estimation du modèle économétrique suivant :

$$\log CPM = \delta_0 + \delta_1 \log \bar{Y} + \delta_2 \log N_i + \varepsilon \quad (2.55)$$

La variable dépendante est le consentement marginal à payer. Les variables exogènes sont le revenu ( $Y$ ) et le niveau de pollution sonore ( $N_i$ ). On considère l'offre des caractéristiques comme fixe.

### II.1.4. Estimation des bénéfices liés à une amélioration de la qualité de l'environnement

On définit :

$$\int_0^1 CPM dN_i = (\alpha_0 + \alpha_1 \log \bar{Y}) N_i + [(N_i \log N_i - N_i)_{final} - (N_i \log N_i - N_i)_{initial}] \quad (2.56)$$

Le différentiel de prix est obtenu par intégration des consentements à payer (on donne au revenu sa valeur moyenne) entre les niveaux de bruit (très exposé à moyennement exposé, et moyennement exposé à faiblement exposé). Il s'agit de la variation non compensée du surplus.

Le choix des variables indépendantes tient compte des exigences de l'application des prix hédonistes. L'application empirique de la méthode des prix hédonistes nécessite la prise en compte d'autant de variables que possible. L'omission de certaines variables peut être à l'origine d'une distorsion des estimateurs des coefficients. La prise en compte d'un grand nombre de variables peut par contre engendrer un biais de multicollinéarité. Butler (1982) suggère de ne retenir que les variables qui ont un coût pour la production et qui procurent une utilité. Mok et al. (1995) ont démontré que les biais dus à l'omission des variables sont infimes et ont un effet négligeable sur le pouvoir d'explication du modèle.

Pour la présente étude, le modèle à estimer est :

$$\log P = \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon_i \quad (2.57)$$

Les variables du modèle sont déterminées à partir de la statistique à travers les tests de Khi-Deux ou les coefficients de corrélation partielle. Les variables se définissent de la façon suivante :

**Le prix de vente** ( $\ln vacc = \log P$ ) : Exprimé en franc CFA. Il est égal au loyer mensuel (pour un locataire) ou sa valeur locative multipliée par la durée de vie de la propriété en question. Il est donné directement par les occupants de la propriété ou calculé en pondérant le loyer par la durée de vie d'une maison<sup>25</sup>.

**L'ancienneté de la propriété** (*Agem*) exprimée en nombre d'années : Beaucoup de recherches montrent que cette variable est corrélée négativement aux prix des propriétés (Clark et Herrin, 2000 ; Rodriguez et Sirmans, 1994, Thiombiano 2003). D'autres chercheurs ont trouvé que cette variable a un effet quadratique (Stevenson, 2004 ; Goodman et Thibodeau, 1997).

**La taille du ménage** (*taille*) exprimée en nombre de personnes : La taille de la famille agit avec un double effet sur l'épargne résiduelle (Thuillier, 1994). Cette variable est corrélée positivement et de façon parfaitement significative avec le revenu total. Elle contribue à la croissance de celui-ci, tout en contribuant par l'augmentation de consommation à la diminution des ressources nettes disponibles pour le logement. Tout dépend donc de la différence des taux de croissance respectifs du revenu et de la consommation (hors logement) en fonction de la taille de la famille. Son signe est donc incertain.

**La distance avec la source de pollution** (*dissource*) exprimée en km : en théorie, plus on est proche de la source de pollution, plus on est affecté par la pollution que celle-ci génère, surtout au décollage et à l'atterrissage des aéronefs. La proximité d'une habitation de l'aéroport est une opportunité selon certains auteurs (Tomkins et al., 1998) et est une desaménité selon d'autres auteurs (Espey et al., 2000). Normalement, cette variable devrait être négativement corrélée à la fonction de prix hédoniste.

**La distance avec le lieu du travail en km** (*distrav*) : cette variable peut expliquer le choix de la demande de logement. Plus le local est proche du lieu de travail, plus on est prêt à payer cher pour l'obtenir afin de compenser le coût de déplacement.

<sup>25</sup>On retient 17 ans pour une maison en banco et 45 ans pour une maison en dur.

**La superficie habitable (sup)** exprimée en  $m^2$  : plus la superficie habitable est grande *ceteris paribus* le prix d'achat ou le loyer est élevé. D'où une relation positive entre les deux variables.

**Les matériaux de construction (matériau)** : La valeur des habitats varie avec les matériaux de construction utilisés. Dans la présente étude, le type d'habitat est une variable binaire prenant la valeur 1 si la maison est en "dur" et 0 si elle est en banco. Théoriquement, cette variable est corrélée positivement à la valeur de la maison. Autrement dit, pour deux maisons données, la valeur de celle construite en "dur" est plus élevée que celle de la maison en "banco", toutes choses égales par ailleurs.

**Le revenu (Y)** exprimé en F CFA : il est à l'évidence autant que le prix, une variable explicative fondamentale de la fonction de la demande. Le revenu, conjointement avec d'autres variables influe sur le niveau des dépenses de logement, mais également sur le statut d'occupation, le type de logement habité, la localisation du logement, etc. La théorie de la consommation retient par hypothèse que les quantités consommées d'un bien durable sont déterminées par le revenu permanent et non par le revenu courant. Le revenu permanent constitue pour le ménage, le niveau théorique qui correspond au rendement moyen 'lissé' sur une longue période du capital humain et non humain. Compte tenu du temps qui est imparti à cette étude, le montant de cette variable a été approché par les dépenses de consommation.

**Le niveau de bruit (nivbruit) en dB** : Selon l'intensité du bruit de la zone, l'on peut être favorable ou réticent à l'achat d'une habitation. Le niveau de nuisance a théoriquement un effet négatif sur le prix ou le loyer d'un logement.

**La criminalité** : cette variable est la somme de : « l'un des membres du ménage a-t-il été victime de vol, agression ou violence dans le quartier au cours des 12 derniers mois ? », la même question avec « témoin » au lieu de « victime » (affecté d'un coefficient  $\frac{1}{2}$ ), et enfin « cambriolage ou tentative d'effraction dans le logement au cours des 12 derniers mois ». Cette variable est nommée « criminalité » mais recouvre aussi bien des crimes et des délits.



Le coût social de cette pollution (équation 2.8) est obtenu comme suit :

$$C_s = \sum_i I_{NDI} P_v (N_i - N_0) R_i \quad (2.58)$$

La rente annuelle moyenne d'une maison aux alentours de l'aéroport ou de la SONABEL peut être dérivée du prix moyen d'achat  $P$  par l'équation suivante de recouvrement du capital :

$$P_v = \frac{Pr(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2.59)$$

En effet, la valeur d'une maison ( $P$ ) est considérée comme un capital qui est amorti par des annuités constantes ( $P_v$ ) pendant  $n$  années (durée de vie de la maison) au taux d'intérêt du gage  $r$ .

$$D'où C_n = \sum_i I_{NDI} \frac{Pr(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} (N_i - N_0) R_i \quad (2.60)$$

Où  $r$  = taux d'intérêt du gage,  $n$  = durée moyenne de vie d'une maison et  $R_i$  = le nombre de résidences de la zone  $i$ .

La détermination des différentes variables permet de présenter la stratégie d'enquête conduisant à l'obtention des données fiables se rapportant à ces dernières.

## II.2. Modèle probabiliste d'explication de la morbidité

Le modèle de Poisson est appliqué sur les individus ayant subi les examens audiométriques afin de dégager les variables individuelles et environnementales susceptibles d'influer sur la probabilité conditionnelle pour un sujet de souffrir d'une surdité (aucune, unilatérale, bilatérale). Par soucis de la signification statistique, nous considérons un échantillon unique. Autrement dit, nous n'estimons pas des modèles séparés pour les deux groupes d'individus. Cependant, pour capter l'effet de chaque source de pollution et plus précisément la nature continue ou intermittent du bruit, nous définissons une variable indicatrice :

$$site = \begin{cases} 1 & \text{si aéroport} \\ 0 & \text{si SONABEL} \end{cases} \quad (2.61)$$

La modalité "aéroport" correspond au bruit intermittent, car la desserte de l'aéroport n'est pas continue ; la pollution n'étant émise qu'au passage des

avons. Quant à la modalité "SONABEL", elle matérialise le bruit continu car le fonctionnement de la centrale est permanent et par conséquent le bruit émis l'est aussi.

Pour les autres variables, la littérature économique et celle de la science de la santé font ressortir un certain nombre de variables susceptibles d'expliquer le problème d'audition dont peut faire objet un agent économique. Dans la présente recherche, nous nous intéressons aux facteurs individuels tels que l'âge et l'historique auditif du sujet. Théoriquement, l'âge mesuré en années révolues est positivement corrélé au problème de surdité. On parle souvent de "presbyacousie" pour désigner la surdité liée à l'âge.

La surdité peut également être provoquée par certaines maladies et infections, ainsi que par certains médicaments. Elle peut être congénitale ou consécutive à des lésions au niveau de l'oreille ou à de graves blessures à la tête. Ce sont ces aspects que nous qualifions d' "historique auditif". Il est décelé par un examen préliminaire avant celui de l'audiométrie avec l'aide du patient qui répond à l'interrogatoire du médecin. Nous définissons une variable binaire pour ce faire :

$$Historique = \begin{cases} 1 & \text{si présence de ces aspects} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2.62)$$

L'exposition au bruit est une cause fréquente de la surdité. En effet, l'exposition au bruit et à des sons de forte intensité peuvent être à l'origine de deux grands types de surdité de perception : l'élévation du seuil d'audibilité et le déplacement permanent de seuil. Elle peut également provoquer l'apparition d'acouphènes - un bruit incessant ressenti dans les oreilles ou dans la tête. Ainsi donc, plus un individu est soumis à un niveau de bruit intense, plus il a des chances de développer une surdité ou d'aggraver sa situation s'il souffrait déjà d'une surdité légère.

Dans cette même logique, il y a des individus, qui, de par leur profession sont plus exposés que d'autres. Pour cerner cet aspect, nous intégrons dans le modèle de Poisson, des variables indicatrices pour chacune des fonctions rencontrées au cours de l'enquête. Nous prenons la fonction ménagère comme modalité de référence.

La durée d'exposition qui se définit comme le temps passé sous la zone polluée, peut accroître la probabilité de survenue d'une surdité. Nous approchons cette variable par la durée de vie de l'enquêté sur le site d'investigation.

### II.3. Modèle probabiliste d'explication de la gêne

Comme indiqué plus haut, le modèle probit multinomial est retenu pour déterminer les facteurs explicatifs du niveau de gêne ressentie par les riverains de l'aéroport et de la centrale thermique Ouagadougou 1 de la SONABEL.

La variable expliquée est alors le niveau de gêne. Ici, il est cerné comme une variable qualitative ordonnée sur une échelle à onze points qui va de 0 pour les individus pas du tout gênés par le bruit des deux sources de pollution à 10 pour ceux qui estiment être troublés par le bruit.

Parmi les variables susceptibles d'expliquer le niveau de la variable endogène, il y a :

**L'intensité du bruit** perçu à domicile : elle est mesurée en dB(A). En théorie, le niveau de gêne est positivement corrélé au niveau de bruit. Des études similaires à la présente (Faburel et Maleyre 2002 ; Vallet et al. 2000) ont établi cette relation par le test de Perron et par des analyses de corrélation.

Le phénomène du bruit est très subjectif. Pour cerner cet aspect, dans le modèle, les **caractéristiques individuelles** tels que l'âge, le sexe, sont prises en compte. A priori, le signe attendu est indéterminé.

### III. Méthodes d'analyse - problèmes et tests économétriques

Les problèmes économétriques soulevés par un modèle sont fonction de la nature de celui-ci. Dans cette section, nous présentons les problèmes économétriques qui peuvent surgir selon les trois types de modèles utilisés dans la présente thèse.

### III.1. Problèmes liés au modèle des prix hédonistes

Le programme de résolution du problème de la pollution sonore par la méthode des prix hédonistes se résume par le système suivant :

$$\log P = \beta_0 + \sum_{i=1}^{14} \beta_i X_i + \beta_{N_i} N_i + u$$

$$\log CPM = \delta_0 + \delta_1 \log \bar{Y} + \delta_2 \log N_i + \varepsilon \quad (2.63)$$

$$\int_0^1 CPM dN_i = (\alpha_0 + \alpha_1 \log \bar{Y}) N_i + [(N_i \log N_i - N_i)_{final} - (N_i \log N_i - N_i)_{initial}]$$

$$C_s = \sum_i I_{NDI} P_v (N_i - N_0) R_i$$

Ce système est indépendant. Il est issu des équations 2.53, 2.55, 2.56 et 2.60. Cependant, il est à noter qu'aucune variable ne joue à la fois un rôle de variable endogène et de variable explicative. Alors chaque équation est résoluble séparément.

Les problèmes généralement rattachés à ce type de modélisation sont les problèmes d'identification, d'estimation par les MCO. Mais aussi, les Méthodes des Prix Hédonistes (MHP) souffrent très souvent de problème de multicollinéarité, d'autocorrélation et d'hétéroscédasticité. Ces problèmes se rencontrent dans les MPH surtout lorsque les données sont en coupe longitudinale. Ici, le problème d'autocorrélation sérielle ne se pose pas car les données utilisées sont en coupe instantanée. Mais, le problème d'autocorrélation spatiale des erreurs - au niveau de la fonction des prix hédoniques - se pose lorsque le prix (loyer) d'une maison dépend des caractéristiques des maisons voisines et que leurs prix sont intégrés dans la régression. Du reste, nous procéderons à certains tests économétriques pour le vérifier (analyse en composantes principales, et tests économétriques...).

Les modèles hédoniques souffrent généralement de problèmes de colinéarité entre les variables explicatives. Par exemple, plus les maisons ont une superficie élevée, plus elles sont susceptibles d'avoir de nombreuses pièces et plusieurs salles de bain. La colinéarité, dans sa version la plus extrême, se traduit par l'impossibilité d'estimer les paramètres de la régression. Dans sa version plus courante, la colinéarité se traduit par des estimateurs imprécis et par des écarts-types élevés.

Greene (2003) propose plusieurs indicateurs pour la déceler. Il n'existe pas de « bonne façon » de traiter les problèmes de colinéarité. Une première consiste à ne pas essayer de corriger la colinéarité. Cette solution pourrait se justifier dans le cas où la variable environnementale (en occurrence ici le niveau de bruit), qui est au cœur de l'analyse, n'est pas affectée par les problèmes de colinéarité. Dans ce cas, les paramètres des autres caractéristiques risquent d'être estimés de façon imprécise (paramètres biaisés), mais cela n'affectera vraisemblablement pas l'estimation du paramètre d'intérêt et donc du prix implicite. D'autres solutions existent (Greene op.cit.), mais aucune ne semble parfaite. Une de ces solutions est d'utiliser un petit nombre de composantes issues d'une analyse en composantes principales sur les variables explicatives. La colinéarité disparaît puisque, par construction, les composantes principales sont orthogonales les unes des autres. En revanche, l'interprétation économique des paramètres estimés s'avère très délicate ; en particulier, le calcul des prix implicites des différentes caractéristiques est difficile à réaliser.

Par ailleurs, lors du choix d'une forme fonctionnelle, il faut toujours garder à l'esprit les problèmes de colinéarité des variables explicatives. En effet, plus la forme fonctionnelle est flexible, plus les problèmes de colinéarité sont importants.

En outre, d'autres problèmes tels que l'hétérogénéité peuvent apparaître au cours de cette première étape, pouvant engendrer ainsi des coefficients certes non biaisés mais non convergents si ces derniers sont estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires. Certaines études indiquent que cette hétérogénéité peut provenir de l'âge des maisons. Avec l'âge, se pose également la question de la vétusté du logement et d'un éventuel effet de bonification dit « vintage effect » (Goodman et Thibodeau, 1995). La notion de vétusté renvoie au calendrier des rénovations qui n'est pas identique d'une résidence à une autre, rénovations qui ne sont pas la plupart du temps renseignées dans les bases de données (Stevenson, 2004). De même, l'effet de bonification indique que l'ancienneté de certaines demeures, peut de manière significative, en augmenter la valeur. Il en résulte une relation non linéaire entre l'âge et la valeur (baisse initiale puis hausse). Une première solution consiste alors à mettre en oeuvre la méthode des moindres carrés généralisés itérative (Goodman et Thibodeau, 1997). Une deuxième solution repose sur

l'estimation de fonctions hédonistes pour chacun des sous-marchés (par exemple, en séparant les maisons à rénover des autres maisons) (Stevenson, 2004). La segmentation spatiale du marché immobilier (différenciation spatiale des caractéristiques et des prix des logements) peut également engendrer des problèmes d'hétéroscédasticité pouvant être accompagnés d'une autocorrélation spatiale (comme les effets de voisinage) (LeSage, 1997 ; Brasington et Hite, 2005). Cette prise en compte de la spatialité des données a suscité de nombreux travaux au niveau économétrique.

Freeman (1979) soulève également le « problème d'endogénéité » associé à la mise en oeuvre de la deuxième étape. En effet, il peut exister une simultanéité entre le niveau des prix implicites de la caractéristique  $k$  et sa quantité  $z_k$  : le consommateur, lorsqu'il achète un logement, choisit simultanément la quantité  $z_k$  d'un attribut et le prix (implicite)  $p_k$  correspondant. La contrainte budgétaire n'est donc plus linéaire. Il en résulte que la variable explicative  $z_k$  n'est plus exogène et est corrélée au résidu de la régression. L'estimation par les MCO donne alors des résultats biaisés et non convergents (Bartik, 1987 ; Epple, 1987). La méthode des variables instrumentales permet d'y remédier. Elle nécessite pour cela l'usage d'instruments qui doivent être corrélés à la variable suspectée d'endogénéité plutôt qu'aux résidus de la fonction de demande (Bartik, 1987 ; Cheshire et Sheppard, 2002). Le choix des instruments exogènes dépend donc des hypothèses faites sur la nature des liens entre la variable endogène et les résidus (Epple, 1987 ; Cavailhès, 2005).

De plus, d'après Brown et Rosen (1982), la deuxième étape ne ferait que dupliquer les résultats obtenus par l'estimation de la fonction hédoniste lors de la première étape et donc ne permettrait pas véritablement d'estimer la fonction de demande (ou de demande inverse). Ils proposent alors deux voies pour surmonter ce problème. La première consiste à avoir recours à des données venant d'un marché segmenté spatialement. Pour chacun de ces marchés, on estime séparément dans une première étape, une fonction de prix hédoniste. Ainsi, si les observations proviennent de  $r$  marchés différents, on peut alors estimer  $r$  fonctions de prix hédonistes : pour chaque observation, le prix implicite  $p_k$  dépend non seulement

du vecteur  $Z$  des attributs du logement associé à cette observation, mais aussi des caractéristiques propres à chaque marché segmenté. Dès lors que l'on impose aux paramètres de la structure de la demande (et de l'offre) d'être identiques d'un marché à l'autre, l'identification de la fonction de demande (ou de demande inverse) devient possible. L'autre voie consiste, à partir de données obtenues sur un seul marché, à faire explicitement des restrictions a priori sur la forme fonctionnelle de la fonction hédoniste. Ces restrictions renvoient alors à des hypothèses sur la fonction d'utilité des ménages et notamment sur la séparabilité fonctionnelle entre les caractéristiques (Freeman, 1979).

En ce qui concerne la méthode d'estimation, comme le système est « indépendant », les MCO sont licites (Thiombiano, 2002).

### III.2. Problèmes liés au modèle probit ordonné

Nous abordons ici essentiellement le problème d'incompatibilité des MCO et des MCG d'une part ; et d'autre part, celui de l'identification.

#### III.2.1. Incompatibilité des MCO et des MLG

Dans un modèle à variable dépendante qualitative, comme celui de l'équation 2.45 la variable aléatoire  $\varepsilon_i$  suit une loi discrète, ce qui interdit de faire l'hypothèse de normalité des erreurs (Doukouré, 2005 ; Gouriéroux, 1989...).

La méthode des MCO n'est donc pas licite car l'hypothèse de normalité des erreurs est violée. Car le recours au MCO dans ce cas, entraînera des problèmes d'inférences statistiques puisque la variance ne serait plus minimale.

Aussi, la variance des  $\varepsilon_i$  de l'équation (2.43) de la section 1.2.3 est donnée au regard de l'équation (2.44) de la même section par :

$$\begin{aligned} V(\varepsilon_i) &= E(\varepsilon_i^2) - (E(\varepsilon_i))^2 && (2.64) \\ &= (1 - X_i\beta)^2 p_i + (X_i\beta)^2 (1 - p_i) - (p_i - X_i\beta)^2 \\ &= p_i(1 - p_i) \\ &= X_i\beta(1 - X_i\beta) \end{aligned}$$

Les erreurs sont par conséquent hétéroscédastiques ; la méthode des moindres carrés généralisés (MCG) n'est pas valide puisque la matrice de variance

covariance est fonction de  $\beta$  (selon l'équation 2.64). Il faut donc recourir à une autre méthode d'estimation : la méthode du maximum de vraisemblance.

### III.2.2. Problème d'identification

Plusieurs auteurs (Greene, 2000) signalent le problème d'identification que connaissent les modèles probit multinomial ordonné. En effet, la prise en compte de la constante dans le vecteur des variables explicatives ne permet pas d'identifier les seuils de la variable latente. Pour y remédier, une normalisation s'impose. Le coefficient de la constante est normalisé à 0. En fait, le problème est que le modèle étant multinomial, la constante n'est pas significative. On rencontre de pareilles situations dans les régressions multiples et dans les séries temporelles où on élimine la constante.

### III.3. Différents tests économétriques

Le présent point traite des différents tests économétriques auxquels nous recourons pour l'analyse des résultats.

#### III.3.1. Test de normalité de Jarque et Bera

Comme nous venons de le voir, l'hypothèse des termes d'erreur joue un rôle capital car elle précise la distribution statistique des estimateurs. C'est sur l'hypothèse de normalité des erreurs que repose l'inférence statistique. L'hypothèse de normalité peut être testée sur les variables du modèle ou sur les termes d'erreur du modèle.

Pour une variable  $X$  donnée de moyenne  $m$  et d'écart type  $\sigma$ , le test d'hypothèse de normalité s'écrit :

$$H_0 : X \text{ suit une loi normale } N(m, \sigma)$$

$$H_1 : X \text{ ne suit pas une loi normale } N(m, \sigma)$$

En économétrie, le test de Jarque et Bera est l'un des tests qui permet de vérifier cette hypothèse. Leur statistique est définie par :

$$JB = n \left[ \frac{S^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24} \right] \quad (2.65)$$



où  $S$  est le coefficient de dissymétrie (Skewness),

$K$  le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) et

$n$  la taille de l'échantillon.

Cette statistique suit sous l'hypothèse nulle une loi de Khi-Deux à deux degrés de liberté. Le critère de décision est l'acceptation de l'hypothèse de normalité si la statistique de Jarque et Bera est inférieure à la valeur théorique (5,99) lue sur la table de Khi-Deux. Dans le cas contraire ( $JB > 5,99$ ), on rejette l'hypothèse de normalité.

### III.3.2. Test d'adéquation d'ensemble du modèle économétrique

Les tests d'adéquation d'ensemble du modèle permettent de connaître l'ampleur et la significativité de la liaison entre les variables dépendantes et les variables explicatives. Selon la méthode d'estimation utilisée, on peut recourir au test de Fisher dans le cas d'une régression linéaire et au test du ratio de vraisemblance ( $LR$ ) dans le cas du modèle non linéaire (probit ordonné). Dans tous les cas les hypothèses se formulent de la même manière.

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ , le modèle est non adéquat

$H_1 : \exists \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$  le modèle est adéquat

Lorsque la statistique de Fisher est utilisée, la règle de décision peut consister pour un seuil donné, à accepter  $H_0$  si la probabilité associée au Fisher est inférieure au seuil considéré et à la rejeter sinon.

Par contre pour le modèle probit ordonné, la statistique calculée du ratio de vraisemblance pour tester ces hypothèses est définie comme suit :

$$LR = -2(\log l_0 - \log l_1) \quad (2.66)$$

où  $\log l_0$  et  $\log l_1$  représentent les logarithmes de la vraisemblance des modèles estimés sous l'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative.

Le ratio de vraisemblance ( $LR$ ) suit une loi de Khi-Deux avec un nombre de degrés égal au nombre de restrictions. L'hypothèse  $H_0$  est rejetée si la probabilité

---

associée à la valeur du ratio de vraisemblance ( $LR$ ) est inférieure au seuil considéré du test.

En dehors de ces tests du caractère significatif d'une variable ou d'un ensemble de variables, les tests d'hypothèses emboîtées servent de fondement aux tests de forme fonctionnelle. Ces derniers permettent d'évaluer la pertinence de ces hypothèses faites sur la représentation des préférences.

Pour le modèle hédoniste, les critères habituels des MCO sont appliqués.

### **Conclusion**

Le présent chapitre a eu pour objectifs de montrer l'adéquation des modèles développés pour le test des différentes hypothèses de la recherche. Ainsi, il ressort que le modèle hédoniste convient à l'estimation du prix marginal que les riverains attachent au bien environnemental. Tandis que le probit ordonné est utilisé pour la détermination des variables explicatives et de la gêne due au bruit. La morbidité est saisie par une analyse statistique simple et par le modèle de comptage de Poisson.

Il ressort cependant qu'il convient de les utiliser avec prudence, compte tenu des problèmes économétriques souvent éprouvés par ces modèles. Pour ce faire, un choix des variables explicatives pertinentes et des méthodes d'estimation adéquates s'imposent. Si ces problèmes trouvent leur solution dans la théorie économique, il est à noter que le problème des variables pertinentes varie selon le milieu d'étude. Pour obérer cette question, il est nécessaire de procéder à une première analyse statistique à travers des tests de Khi-Deux, de tri-croisés etc. comme le préconise la méthode de la socioéconométrie. Mais avant tout, il faut une bonne stratégie de collecte des données. C'est ce à quoi le prochain chapitre est consacré.

---

## Chapitre III : Echantillonnage et analyse descriptive des données

---

L'illustration des modèles théoriques développés dans les chapitres précédents est faite à partir de données de ménages riverains de l'aéroport et de la centrale thermique de Ouagadougou 1 du Burkina Faso. Le présent chapitre discute des méthodes de collecte des données utilisées dans cette thèse et en présente une analyse statistique. Il s'articule autour de trois sections. La première section décrit les données et les stratégies d'échantillonnage, la seconde section donne les résultats de statistiques descriptives qui permettent de tirer les premiers renseignements fournis par les données et la troisième section enfin, décrit les liens entre les différentes variables au moyen des coefficients de corrélation et du test Khi-Deux de Pearson.

### I. Stratégies d'échantillonnage et collecte des données

Les données et les stratégies développées pour leur collecte constituent une charpente essentielle pour la vérification des hypothèses formulées. La section s'articule autour de deux points. Le premier présente les données et le second est consacré à l'échantillonnage.

#### I.1. Données

La rigueur scientifique d'une recherche est tributaire de la qualité des statistiques utilisées. Cette sous section décrit dans un premier point la nature des données ; les mesures des statistiques sonores sont abordées dans la deuxième sous section. La troisième et la quatrième sous sections se consacrent respectivement à la collecte des données primaires et à celles issues de l'audiométrie.

##### *I.1.1. Nature des données*

Les données utilisées dans la présente thèse sont constituées d'une part, de données quantitatives comme le revenu, l'âge de la maison, les variables de caractéristiques de proximité ; et d'autre part, des données qualitatives telles que les variables

binaires ou multinomiaux caractérisant les effets et le niveau de gêne (niveau de gêne sur une échelle à onze points ; effet ou non du bruit sur les activités quotidiennes...).

Les modèles retenus privilégient les données en coupe instantanée. La raison est que l'usage des données établies en un point du temps plutôt que des données chronologiques permet de mieux contrôler l'influence des autres variables qui pourrait se faire jour en dynamique (Faucheux et al. 1995).

### *1.1.2. Mesures des statistiques sonores*

Les données sur les niveaux sonores utilisées dans la présente thèse sont issues de deux sources à savoir la mesure directe par le sonomètre intégrateur et le recours aux modèles établis par l'ISO et l'OACI.

#### a) Par sonomètre

Pour bien cerner l'effet du bruit, une délimitation des zones de bruit par mesure du niveau de bruit en dB (A) a été faite dans le cadre de la rédaction du mémoire de DEA. Ceci s'est fait grâce à un sonomètre intégrateur de marque DK 2238. Le niveau de bruit ambiant de chaque zone a été mesuré et ceci en deux passages (à 10 heures et 23 heures), avec des conditions météorologiques favorables (pas de vent ou de pluie). Le temps de mesure en chaque point était de quinze (15) minutes. Ce temps est suffisant pour un travail de prospection générale sur la pollution. Le microphone du sonomètre était placé à une hauteur de 1,2 m du sol. Ce qui respecte les dispositifs standard de prise de son.

Deux procédés de mesure de l'intensité du bruit émis par les avions sont envisageables. La première consiste, à l'aide d'un dispositif (sonomètre) à mesurer le nombre de dB(A) émis par chaque type d'avion à différentes périodes (vent, température, nuit, jour...). Ce dispositif est souvent placé au niveau des aéroports. Mais à l'aéroport de Ouagadougou, celui-ci est absent. Pour contourner cette

absence, Thiombiano (2003) avait utilisé un sonomètre mobile. Mais, la lourdeur de cette opération<sup>26</sup> rend difficile la prise de son pour chaque catégorie d'avion.

La voie alternative qui est la seconde, est le recours aux modèles de certification utilisés par l'OACI. Ces modèles, en fonction du poids de l'avion, donnent la propagation du son émis dans l'espace. Ainsi, pour chaque catégorie d'avion, un modèle est construit. Le tableau de l'annexe 1 présente ces différents modèles.

Nonobstant le fait que ces modèles pèchent par la non disponibilité du poids réel au décollage ou à l'atterrissage des avions, ils permettent toutefois la prise en compte de l'altitude. Ceci permet la distinction du bruit de survol d'une part, de celui de l'approche ; et d'autre part, du bruit latéral. Pour les utiliser, nous émettons une hypothèse simplificatrice, comme le fait la DGACM, en considérant leur poids total autorisé en charge (PTAC)<sup>27</sup>. C'est cette méthode qui est utilisée dans le présent travail car elle a l'avantage d'être moins coûteuse et globale en dépit de l'hypothèse de travail formulée.

Les niveaux de bruit ambiant qui se définissent comme le niveau sonore de toutes les sources acoustiques qui prévalent dans les différentes zones, en dehors du bruit émis par les avions et les centrales thermiques, sont obtenus par mesure à l'aide d'un sonomètre. Les zones riveraines de l'aéroport et de la SONABEL ont été concernées par lesdites mesures.

Le tableau 2 fait ressortir les niveaux moyens de bruit par zone.

**Tableau 2** : Niveau de bruit résiduel dans les zones enquêtées en dB(A)

Zones	Niveau	$L_{Aeq}$ *	$L_{Amin}$ **	$L_{Amax}$ **
Cité 1200	-	-	42,6	-
Cité An 2	-	53,2	44	68
Patte d'Oie	-	51,7	44,9	64,7
Paspanga	-	53,3	41	72
CHU	-	53	40	70
Kalgondin	-	52,3	35,9	71,8
Zogona	-	51,5	42	72

Source : Thiombiano 2003 complété

\* Le  $L_{Aeq}$  est le niveau d'exposition équivalente

\*\* Le  $L_{Amin}$  et  $L_{Amax}$  sont respectivement les niveaux d'exposition minimum et maximal

<sup>26</sup> Connaissance de plages horaires avec les retards des avions, disponibilités de techniciens...

<sup>27</sup> Utilisé par le DGACM pour le calcul des taxes.

Ce tableau fait ressortir une intensité moyenne du niveau de bruit ambiant équivalent de l'ordre de 52,5 dB(A) pendant la journée. Les différents niveaux ambiants sont compris entre 50 et 55  $L_{Aeq}$ ; niveau admis dans les zones résidentielles à l'extérieur des chambres par la réglementation au Burkina. Comparativement aux normes de l'OMS, nous dirons que nos populations en dehors de la pollution des avions et de la SONABEL sont dans un environnement sonore confortable. Quant aux différents niveaux de pollution induits par les avions et les centrales thermiques, nous recourons aux normes de certification consignées par l'ISO pour les industries et par l'OACI pour les aéronefs.

b) Par la méthode *ISO*

En ce qui concerne la pollution acoustique industrielle comme celle de la centrale thermique de la SONABEL, l'*ISO* préconise d'utiliser un modèle de propagation du son dans l'espace, qu'il a lui-même mis en place : la norme *ISO 9613-2 : 1996 (E)*. Ce modèle est adapté à la mesure de son dans l'espace pour une source polluante stationnaire, contrairement à celui de l'OACI qui convient au cas d'une source polluante mobile comme l'avion.

La centrale thermique de Ouagadougou 1 a fait l'objet de plusieurs prises de niveau de pollution acoustique soit par le service environnemental de la SONABEL, dans le cadre de ses activités quotidiennes, soit dans le cadre de la recherche académique comme celle de Thiombiano (2003).

A partir du niveau de bruit obtenu à la source à 23h<sup>28</sup>, le modèle *ISO* est utilisé pour calibrer les niveaux de bruit des différentes zones environnantes de ladite source et ceci à l'aide du logiciel Excel.

Ces données constituent une variable essentielle pour notre travail car c'est autour d'elles qu'est déterminé le coût social des nuisances produites par les deux catégories de sources polluantes. Cependant, elle ne suffit pas à elle seule pour

---

<sup>28</sup> Ceci pour éviter le bruit des autres sources

---

répondre aux différentes hypothèses formulées. D'autres données sont alors nécessaires. Ces dernières sont obtenues par enquête.

### ***1.1.3. Collecte des données primaires***

Une fois les zones de bruit déterminées, des données sur les différentes variables ont été collectées pour les analyses. L'enquête a été conduite auprès de 200 ménages. Elle s'est déroulée en un seul passage durant tout le mois de janvier 2007.

Les données de base recueillies sont d'ordre psychosociologique, socioéconomique et démographique allant des dépenses mensuelles courantes, au niveau de gêne exprimé. De ce fait, le chef de ménage et son épouse étaient plus habilités à répondre au questionnaire. Cependant, il est à noter que les membres de famille qui sont majeurs pouvaient le faire également.

Une série d'enquêtes a été menée auprès des ménages avec un questionnaire<sup>29</sup> comme support. A partir du cadre théorique développé dans les chapitres précédents, nous nous sommes intéressés aux différentes variables qui ont un intérêt pour la compréhension et l'analyse des nuisances sonores des avions et des centrales thermiques. Le questionnaire comprend plusieurs fiches thématiques regroupées en quatre grandes parties, permettant d'atteindre les objectifs escomptés.

La première partie se compose des fiches portant sur les données générales des ménages enquêtés et leurs habitats à savoir :

#### (i) caractéristiques démographiques des ménages

La fiche démographique recueille les informations de base concernant les membres du ménage. Elle identifie le chef et la taille du ménage, la composition par sexe, âge et le niveau d'éducation de tous les membres. Elle renseigne également sur la situation socioprofessionnelle, le type de ménage, la nationalité ainsi que

---

<sup>29</sup> Le questionnaire s'est inspiré de celui d'une étude similaire effectuée par Vallet et al. (2000) auprès des riverains des deux aéroports de la France (Roissy et Charles de Gaulle).

l'historique des différents membres sur les problèmes d'audition et d'hypertension. Ces différentes informations entrent dans le traitement des modèles présentés au chapitre précédent ;

(ii) caractéristiques de l'habitat

La méthode des prix hédonistes a pour support des biens complexes que sont les maisons. La connaissance de leurs caractéristiques est prépondérante. Cette fiche renseigne sur les variables qualitatives des habitats tels que le statut d'occupation, le type d'habitat, la présence de plafond, l'existence de fissures dans les murs intérieurs, et sur les variables quantitatives comme la surface habitable, le nombre de chambres, l'âge de la maison... Elle indique également la présence d'eau dans la cour et d'autres variables ; somme toute, les caractéristiques habitables susceptibles d'influencer le choix des agents économiques par leur prix. Les montants des loyers ou les valeurs constructives y sont aussi répertoriés ;

(iii) caractéristiques de proximité

La théorie enseigne que le choix du lieu de résidence est généralement guidé par les caractéristiques de proximité. Nous avons recensé dans cette fiche essentiellement les distances en kilomètres qui séparent le domicile des différentes infrastructures socioéconomiques tels que les établissements d'enseignement fréquentés par les membres de la famille, le dispensaire, le centre commercial, le lieu de travail. La distance par rapport à la source de pollution y est également saisie. Les variables permettant de cerner le taux de criminalité du quartier de résidence sont aussi contenues dans ladite fiche ;

(iv) revenu permanent mensuel du ménage

En l'absence des données fiables sur le revenu des ménages, nous l'avons appréhendé par les différentes dépenses essentielles effectuées mensuellement par les ménages. Cette fiche retrace les valeurs des différentes dépenses effectuées par le ménage au cours d'un mois.

La deuxième partie du questionnaire est consacrée aux interrogations permettant de déterminer les facteurs explicatifs de la gêne due aux bruits des avions et des centrales thermiques. Elle est constituée de cinq fiches :



---

(v) passé et devenir

Cette fiche retrace l'historique des riverains quant à leur résidence. Des études similaires ont formulé comme hypothèse que la gêne due au bruit des avions est interdépendante du cursus résidentiel et du vécu des modifications passées de l'environnement sonore. La présente fiche recueille alors des données y relatives afin de tester cette hypothèse. Ainsi, elle passe en revue la région d'origine, le type d'habitat antérieur, les raisons d'habiter la zone, l'anticipation du bruit ;

(vi) durée et conditions d'exposition

La gêne due au bruit est aussi liée aux projections, aux craintes et aux attentes pour le futur. La durée et les conditions d'exposition sont saisies par cette fiche. Elle aborde la variation de la gêne selon le temps qu'il fait, l'intention de déménager et ses raisons ; ainsi que l'adaptation au bruit du cadre de vie ;

(vii) gêne et qualité de vie

La gêne due au bruit est liée à la perception globale de la qualité de vie et peut occulter toute impression de l'environnement. La présente fiche a pour objet de saisir la relation entre le niveau de la gêne et la qualité de vie ;

(viii) relations entre la gêne et ses effets sur la santé et les comportements quotidiens

Cette fiche recueille des données susceptibles de permettre une analyse des relations entre la gêne due au bruit et ses effets imputés sur la santé et les comportements quotidiens des riverains ;

(ix) gêne, l'information et la communication

L'aspect information et communication est abordé par cette fiche. La gêne due au bruit est liée d'une part, au regard porté par les riverains sur les acteurs de l'aéroport et d'autre part, au vécu des relations, de l'information et de la communication entre les dirigeants des sources de pollution et les riverains respectifs.

L'avant dernière partie du questionnaire est constituée d'une fiche unique et a pour objectif de recueillir des informations relatives à la santé de la pollution. Elle permet de saisir l'état de morbidité des riverains et le type de système sanitaire

auquel ils ont recours pour d'éventuels soins. Cette fiche sera appuyée par la fiche d'examen audiométrique.

Enfin, la dernière partie du questionnaire se consacre à la participation des enquêtés à des actions collectives. Elle recueille le CAP fourni par les riverains pour des fins de comparaison. Toutes ces fiches sont annexées à la fin de cette thèse.

Des données secondaires pour l'estimation du coût social ont été collectées auprès d'une part, de Burkina Bail et la Banque de l'Habitat (taux d'intérêt de gage) et d'autre part, de la mairie, de l'INSD et des ministères des enseignements pour les statistiques de population, de taux de scolarisation.

Comme support logistique, l'enquête a bénéficié de l'appui technique du service ORL de l'hôpital universitaire national Yalgado Ouédraogo pour la partie audiométrie. Le travail de terrain a été effectué par 3 enquêteurs dont un de niveau DEA et 2 de niveau maîtrise ; tout ceci sous notre supervision. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les différentes mesures acoustiques n'ont été possibles que grâce au concours du service environnement de la SONABEL.

#### ***1.1.4. Mesure audiométrique***

L'audiométrie est un examen médical constitué d'un ensemble de mesures qui consistent à déterminer le profil audiométrique d'une personne, c'est-à-dire à fournir un état précis de son audition par rapport aux stimuli acoustiques. En effet, elle permet selon les fréquences de son, de révéler les sources de surdité : surdité professionnelle ou surdité normale. A cet effet, elle sert de baromètre dans le cadre de cette thèse pour tester l'hypothèse selon laquelle la pollution sonore des sources considérées a un impact sur l'audition des riverains.

Le principe de l'audiométrie consiste à obtenir l'audiogramme tonal qui se base généralement sur des sons purs à fréquences choisies arbitrairement et conventionnellement (à 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz). On mesure le seuil de l'audition pour ces différentes fréquences. On le fait en adressant le son tour à tour à chaque oreille au moyen d'un casque. On compare ensuite ces résultats au seuil normal pour les

mêmes fréquences, de façon à déterminer le déficit auditif et à étudier l'audiogramme qui représente graphiquement ce déficit en fonction de la fréquence.

Les études ont prouvé que la première fréquence à être touchée dans le cas de la perte auditive due aux nuisances sonores est 4 000 hertz. Ces différentes techniques sont appliquées sur un échantillon que nous avons construit à partir de la population selon certaines techniques de sondage. La sous section 1.2. présente la technique d'échantillonnage adoptée.

## **I.2. Echantillonnage**

Cette section fait l'état des procédures retenues pour le choix de la zone d'enquête et des unités enquêtées.

### ***I.2.1. Choix des zones d'enquête***

A l'approche, les avions émettent un bruit constitué de fréquences aiguës qui, selon les spécialistes, est très traumatisant pour les populations. Par contre, à l'éloignement, le bruit émis est constitué de fréquences basses, non traumatisant. Ainsi, en principe, seulement les populations des zones situées sur la ligne d'atterrissage devraient souffrir des problèmes auditifs. En ce qui concerne l'aéroport de Ouagadougou, les avions atterrissent le plus souvent du côté sud-ouest. Mais, compte tenu de la direction du vent, ils peuvent atterrir aussi du côté nord-est. Ainsi, toutes les populations des deux axes sont exposées au bruit de fréquence aiguë. Le problème qui se pose est alors, de savoir jusqu'à quel niveau l'effet est nuisible. L'acoustique apporte une réponse à cette question. Ainsi, la zone d'exposition est constituée d'une bande déterminée par les calculs. En effet, il est connu en acoustique qu'il y a une décroissance de 7 dB(A) par doublement de la distance et que l'échelle dB(A) sur laquelle repose les indices acoustiques est une échelle logarithmique : une différence de 3 dB(A) correspond au doublement des intensités d'exposition, une différence de 5 dB(A) à un triplement (Faburel et Maleyre, 2007).

Selon l'annexe 16 de l'OACI, à son chapitre 3, les conditions de mesure de la nuisance sonore sont : 6,5 km dans le prolongement de la piste et 250 m du côté latéral. Or la piste de l'aéroport international de Ouagadougou mesure 3025 m. Par conséquent, la bande d'exposition est longue de 16 km 25<sup>30</sup> m et large d'un demi kilomètre.

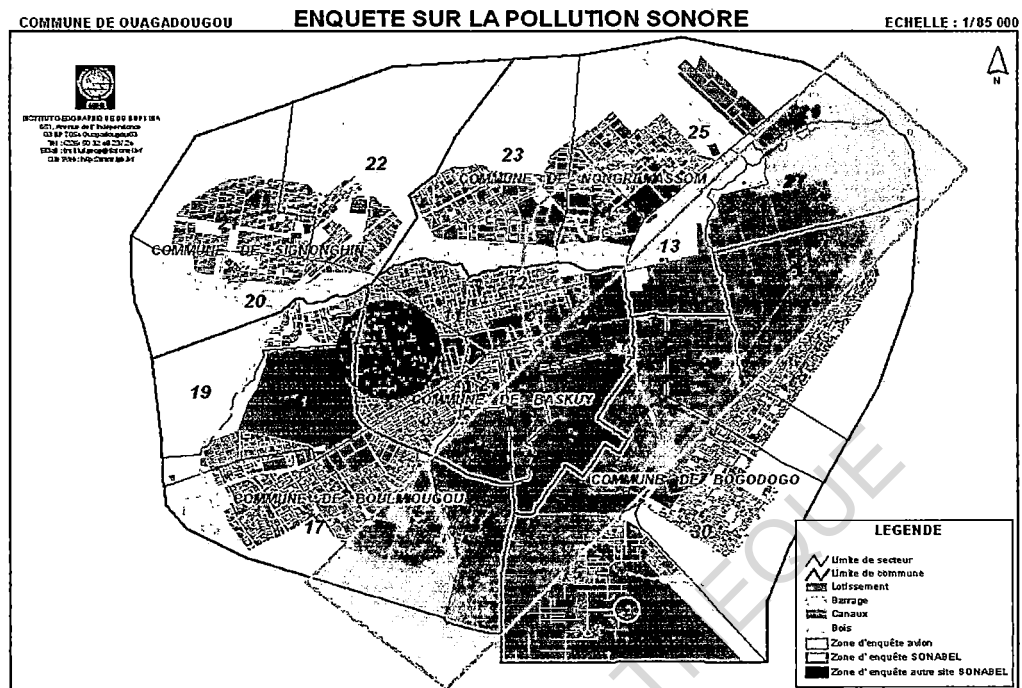
Plusieurs solutions sont envisageables pour s'assurer que l'échantillon couvre des situations sonores contrastées. La première consiste à travailler sur des données chronologiques en étendant la période d'observation jusqu'aux années 1996, pendant lesquelles l'exposition sonore des zones étudiées s'est sensiblement accrue avec le trafic aérien. La seconde consiste à étendre la zone d'étude au-delà des celle initialement retenue, de manière à inclure des lieux peu ou pas exposés au bruit des avions. Du fait de l'absence des données nécessaires (données sur les transactions dans le premier cas, mesures acoustiques comparables à celles de la zone retenue dans le second), aucune de ces solutions n'a pu être mise en œuvre.

Il reste alors à travailler en coupe instantanée, puis à estimer le coût par rapport aux normes de l'OMS.

Le choix de la zone d'enquête s'est fait sur la base du critère d'exposition à la pollution acoustique des avions. Ainsi, toutes les zones d'habitation situées à l'intérieur de la bande font l'objet de l'enquête. Le même principe est appliqué pour la détermination de la zone d'enquête au niveau du deuxième site d'enquête (SONABEL). Selon l'ISO, la zone exposée à une pollution à source stable, est délimitée par la formule de la baisse du niveau sonore de 3 dB(A) à chaque dédoublement de distance par rapport à la source de pollution. Le graphique ci-après présente la zone d'enquête.

---

<sup>30</sup> Soit 6,5 km de chaque côté de l'aéroport ( $6500m + 3025m + 6500 = 16\ 025m$ )

**Graphique 4 : Zones d'enquête sur la pollution sonore**

Une fois la zone d'enquête déterminée, un tirage aléatoire a été effectué pour le choix des unités d'enquête.

**I.2.2. Choix des unités d'enquête**

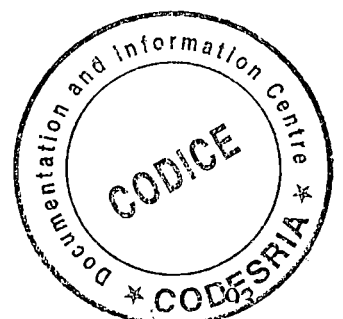
L'unité d'enquête est le ménage ; le ménage se définissant comme étant l'ensemble des personnes vivant sous le même toit et consommant ensemble et ceci sous la responsabilité d'un chef de ménage. Les ménages ont été constitués par stratification selon le niveau de pollution. Au niveau de chaque strate, le tirage a pris en compte la représentativité des sous strates d'habitation et de certaines caractéristiques sociodémographiques. Autrement dit, pour une taille d'échantillon de 200 ménages et pour 11 strates<sup>31</sup>, la taille de chaque strate est :

$$n_i = \frac{N_i \times 200}{N}$$

où  $N_i$  = nombre de ménages de la strate et

$$N = \sum_{i=1}^k N_i \text{ nombre total des ménages concernés.}$$

<sup>31</sup> Les strates sont constituées des zones avoisinantes



$n_i$  = nombre de ménages de la strate  $i$  retenus dans l'échantillon

$$n = \sum_{i=1}^k n_i = 200 = \text{taille de l'échantillon}$$

Le choix des ménages dans chaque sous strate obéit à la même formule. Cela va sans dire qu'une pré enquête est effectuée afin de faire un recensement exhaustif des habitations des zones retenues.

Le tableau 3 présente la répartition de l'échantillon dans les différentes zones d'enquêtes.

**Tableau 3** : Répartition des ménages sondés dans les différentes strates

Zones enquêtées	Source de pollution	Nombre de ménages tirés : $n_i$
Cité 1200	Aéroport	15
Cité An 2	Aéroport	15
Patte d'Oie	Aéroport	15
Paspanga	Sonabel	15
Zogona	Aéroport	15
Zone du Bois	Aéroport	15
CHU	Sonabel	15
Côté nord aéroport	Aéroport	15
Tanghin	Sonabel	15
Secteur 16	Aéroport	40
Kalgondin	Aéroport	25
Total		200

**Source** : Auteur

A l'issu de ce choix, un échantillon a été constitué pour les examens médicaux (audiométrie, prise de tension...). Les cinquante individus ayant pris part à l'examen audiométrique ont été obtenus par tirage stratifié au premier degré selon la proportion de chaque sous échantillon soit 70% pour la zone de l'aéroport et 30% pour celle de la SONABEL. Le choix du ménage au sein de chaque zone ainsi que celui des individus à l'intérieur du ménage s'est opéré par tirage aléatoire. Tous les ménages et ensuite les membres du ménage retenu sont mis dans une corbeille et tirés au hasard. Les personnes retenues reçoivent une note de participation séance tenante et leurs numéros téléphoniques sont prélevés à des fins de rappel les deux jours précédents l'examen. Le lieu d'examen est choisi de façon à se rapprocher le plus possible des enquêtés soit un rayon d'environ deux kilomètres des lieux de résidence des enquêtés. Ainsi, trois lieux ont servi de site d'examen (le

CEDRES, le dispensaire du secteur 15 et l'école Paspanga). Le jour-ci nous revisitons les ménages concernés pour les signifier que le médecin est arrivé.

A partir de cet échantillon, les données recueillies permettent une première analyse descriptive.

## II. Analyse descriptive simple des données

Cette section donne un aperçu des données utilisées dans la présente thèse. Il est alors abordé dans cette section plusieurs sous points allant des statistiques de desserte de la plateforme aéroportuaire à celles du problème auditif.

### II.1. Desserte de la plate forme aéroportuaire de Ouagadougou

La présente section traite d'une part, de la répartition des avions par marque et par plage horaire de desserte ; et d'autre part, de l'évolution du nombre de mouvements annuels.

#### II.1.1. Type d'avions et plage horaire de desserte

Il est reconnu que les nuisances sonores sont corrélées à la typologie d'avion établie par l'OACI comme indiqué au chapitre 2 et aux plages horaires de desserte. Il est alors jeté un regard sur ces deux aspects dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4** : Répartition des avions desservant la plate forme aéroportuaire (en %) selon la marque et la Plage horaire de déserte

Plage horaire	Chap. OACI	Poids en t	6H-13H	13H-14H30	15H-22H	22H-6H	Total
Type d'avion							
F 28	2	32	8,51	11,70	8,51	1,06	29,79
AT42	2	16	2,13	2,13	0,00	0,00	4,26
B737	2	71	1,06	1,06	4,26	6,38	12,77
B738	3	79	0,00	0,00	1,06	3,19	4,26
A319	3	70	2,13	1,06	9,57	6,38	19,15
A320	3	70	0,00	1,06	7,45	10,64	19,15
A332	3	233	0,00	0,00	3,19	3,19	6,38
A341	3	260	0,00	0,00	4,26	0,00	4,26
Total	-	-	13,83	17,02	38,30	30,85	100,00

**Source** : Construit à partir des données de la DGACM

Du tableau 4, il ressort que l'essentiel de la desserte de l'aéroport de Ouagadougou est assuré par les avions de type F28, A319, A320 et B737<sup>32</sup> avec respectivement 29,79% ; 19,15% ; 19,15% et 12,77% des mouvements hebdomadaires. Globalement, ces avions assurent 80,85% des vols sur Ouagadougou. Les autres types d'avions constitués de A340, A330, B738 et AT42, représentent 19,15% du trafic.

Le fait le plus important pour le présent thème est le pourcentage des avions appartenant au chapitre 2 de l'annexe 16. Certains avions qui atterrissent ou débarquent de notre site d'étude tels que les F28, les B737 et les AT42 relèvent de ce chapitre. Ils assurent 46,82% du trafic. Cela dénote un non respect du principe de l'OACI qui préconise le retrait de ce type d'avions de la navigation aérienne. Aussi, la plupart des mouvements d'avions (47,87%) s'effectuent à des plages horaires de repos soit respectivement 17,02% entre 13h et 14h30 et surtout 30,85% entre 22h et 6h. Le poids moyen pondéré par la fréquence des avions desservant l'aéroport est de 75,4 tonnes.

Cet état de fait vient accentuer l'ampleur de la pollution sonore et partant du niveau de gêne de la population riveraine. Cette situation va en crescendo avec le trafic aérien.

### ***II.1.2. Evolution du trafic aérien***

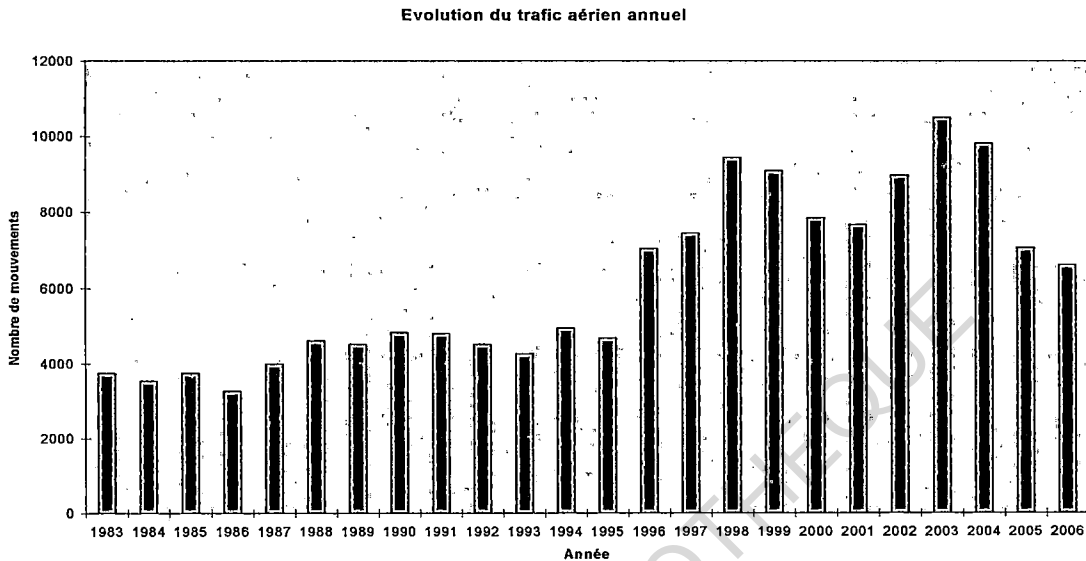
Comme le montre le graphique 5, l'évolution du trafic aérien au niveau de l'aéroport international de Ouagadougou peut être scindé en deux phases. La première phase qui couvre la période 1983-1995, est caractérisée par un trafic annuel relativement faible avec une moyenne de 4 274 vols commerciaux et non commerciaux et un écart type de l'ordre de 551 vols. La seconde phase est marquée par une hausse tendancielle du trafic aérien avec un dédoublement de la moyenne. Elle est de l'ordre de 8 307 mouvements avec une dispersion autour de la moyenne plus accentuée (écart type de 1 297 vols). Le trafic a même atteint le niveau de 10 487 mouvements en 2003, soit une fréquence journalière de 29 vols ; niveau comparable à celui de l'aéroport de Reno (Nevada aux USA). Avec le projet

<sup>32</sup> Les anciennes versions



d'extension de l'aéroport, il faudra s'attendre à une intensification du trafic, toutes choses égales par ailleurs.

**Graphique 5** : Evolution du trafic aérien



**Source** : Construit à partir des données de la DGACM

L'analyse de cette chronique par le test de racine unitaire de Dickey et Fuller Augmenté (ADF), montre qu'elle est de nature non stationnaire. Le résultat du test donne en effet :

$$ADF_c = -2,655693 \quad ADF_{lu} = \begin{cases} -4,4415 & \text{pour } \alpha = 1\% \\ -3,6330 & \text{pour } \alpha = 5\% \\ -3,2535 & \text{pour } \alpha = 10\% \end{cases}$$

Quel que soit le seuil considéré,  $ADF_c > ADF_{lu}$ .

Une analyse indique que l'évolution du trafic global est un trend stationnaire (TS)<sup>33</sup>. Autrement tout choc à un instant donné a tendance à rejoindre son mouvement de long terme. On dit qu'il y a absence d'hystérésis pour ce type de processus. Economiquement, cela veut dire que la trajectoire de long terme de la distribution n'est pas influencée par les aléas conjoncturels.

En distinguant mouvements commerciaux et mouvements non commerciaux, l'analyse montre que l'évolution du trafic commercial suit une marche au hasard avec dérive. Autrement dit, il y a présence d'hystérésis ; l'impact d'une innovation

<sup>33</sup> Confère représentation graphique en annexe 2

$\varepsilon_t$  à une date  $T$  sur le processus est permanent. Concrètement, cela traduit que l'arrivée d'une nouvelle compagnie commerciale par exemple dans l'espace aérien du Burkina Faso aura une répercussion durable sur le nombre de mouvements commerciaux de l'aéroport. Par contre, le trafic non commercial constitué essentiellement des vols des officiels suit un processus de trend stationnaire. Toute évolution conjoncturelle de ce type de trafic (par exemple lors des sommets et autres organisations) va très vite ramener la distribution vers sa tendance normale.

Ces différents mouvements entraînent des nuisances sonores sur les ménages environnants qui présentent des caractéristiques diversifiées.

## II.2. Données générales sur les ménages

Il est admis que les caractéristiques démographiques des ménages sont déterminantes dans leur comportement de consommation et de production. Pour ce faire, des informations de base ont été recueillies sur les différents membres des ménages enquêtés. Elles portent sur la composition par sexe, l'âge, le niveau d'éducation, l'ethnie et l'origine géographique de chacun des membres.

### II.2.1. Données démographiques

L'enquête a couvert 200 ménages composés de 838 personnes ; soit une moyenne de 4,19 personnes par ménage. Cette moyenne est voisine de celle de la commune de Bogodogo qui est de 4,87 personnes par ménage. Le tableau 5 donne la répartition par sexe de l'échantillon.

**Tableau 5** : Répartition de la population en % selon le sexe

Echelle	Echantillon	Commune*	National*
Sexe			
Masculin	57	50,50	48,3
Feminin	43	49,50	51,7
Total	100	100	100

\* RGPH 2006

**Source** : Données d'enquête

L'analyse de la composition démographique par sexe de l'ensemble des personnes enquêtées révèle une prédominance du nombre d'hommes (57%) sur les femmes (43%). Ces statistiques reflètent celles de la commune qui sont respectivement de 50,5% et 49,5%. Cependant, par rapport aux statistiques nationales, nous avons une inversion de la tendance au profit de la gente masculine pour l'échantillon d'étude. En effet, si notre échantillon est constitué de 57% d'hommes et 43% de femmes ; au niveau national, ces ratios sont respectivement de 48,3% et de 51,7%. Ces statistiques nous indiquent que la structure de la population de notre capitale est différente de celle du pays en terme de sa composition en genre.

Au niveau de la gouvernance des ménages, 98,7% des chefs de ménages sont des hommes sur l'ensemble de l'échantillon d'étude.

### *II.2.2. Statut professionnel et niveau d'éducation du chef de ménage*

La théorie du capital humain a montré depuis les travaux de Schultz (1961) que le niveau d'éducation est une variable sociodémographique qui conditionne nombre de comportements des agents économiques. En effet, le niveau d'éducation facilite la compréhension des phénomènes économiques des individus, détermine le plus souvent le statut professionnel et accroît leur pouvoir de discernement. La statistique descriptive fait ressortir au sein de l'échantillon d'étude les tendances suivantes résumées dans le tableau 6 :

**Tableau 6** : Répartition des chefs des ménages selon le niveau d'éducation (en%)

Modalité	Echantillon	National*
Sans niveau	31,7	70,7
Primaire	23,9	20,1
Secondaire	25,4	8,1
Supérieur	19,0	1,1
Total	100	100

\* RGPH 2006 (INSD, 2008)

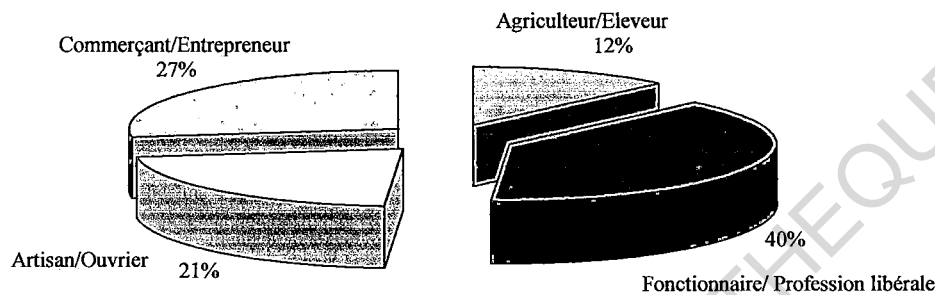
**Source** : Données d'enquête

Au total, au niveau de notre échantillon 68,3% des chefs de ménages ont au moins été à l'école contre 31,7% qui n'ont aucun niveau d'instruction. Plus de 45% de ceux-ci ont le niveau secondaire. Cela devrait présumer une bonne compréhension des problèmes environnementaux. Ces statistiques sont nettement meilleures en terme de niveau d'éducation à celles du pays dans son ensemble. En effet, au

niveau national, 70,7% de la population de 7 ans ou plus n'ont aucun niveau d'instruction, 20,1 ont le niveau primaire, 8,1% le niveau secondaire et 1,1% le niveau supérieur. Ce qui traduit une fois de plus la disparité entre les différentes régions en matière d'éducation.

Ces chefs de ménage se retrouvent dans les différents secteurs économiques. Le regroupement en quatre secteurs d'activités donne graphiquement les tendances suivantes comme l'indique le graphique 6 :

**Graphique 6** : Répartition des chefs de ménage selon le statut professionnel (en %)



**Source** : Données de l'enquête

En zone urbaine, on rencontre de moins en moins d'agriculteur/Éleveur (12%). Ce type de fonction prédominant en campagne cède la place aux activités du secteur tertiaire (commerce ou profession libérale) et secondaire (ouvrier, employés des unités industrielles) en zone urbaine. Dans le cas présent, respectivement 40% et 27% des chefs de ménages sont dans la profession libérale / fonctionnaire et dans le commerce. Le reste des chefs de ménages (21%) sont des ouvriers.

La distribution des chefs de ménages selon l'âge permet de noter que dans l'ensemble, les chefs de ménage ayant moins de 30 ans et ceux d'un âge très avancé (plus de 60 ans) représentent respectivement une proportion de 15,5% et 15% de l'échantillon. La majorité des chefs de ménage, soit 69,50%, ont un âge compris entre 31 et 60 ans. Cette tendance est respectée dans les différentes zones d'enquête. Cette situation peut avoir des impacts sur le choix des caractéristiques de logement car l'âge du chef de ménage entre comme argument dans la fonction de demande de l'aménité environnemental. Le tableau 7 présente la distribution des chefs de ménage selon l'âge et la zone de pollution.

**Tableau 7** : Distribution des chefs de ménage selon l'âge par zone de pollution (en %)

Age	Source	SONABEL	Aéroport	Ensemble
Moins 30 ans		3.0	12.5	15.5
31-60		20.5	49.0	69.5
61 ans et plus		6.0	9.0	15.0
<b>Total</b>		<b>29.5</b>	<b>70.5</b>	<b>100.0</b>

Source: Données d'enquête

Comme nous l'avons signalé précédemment, le revenu des ménages est un argument essentiel de la fonction de demande d'un bien. Il est coutume, dans les pays en développement, où les ménages tiennent rarement de comptabilité, de saisir cette variable par les dépenses essentielles telles que les dépenses alimentaires, le loyer, l'électricité...

Au sein de l'échantillon, le revenu moyen mensuel d'un ménage est de 98 015 F avec un coefficient de variation de 92% ; caractérisant une forte variabilité autour de la moyenne. En effet, 59% des ménages ont moins de 98 015F dont 25% ont au plus 50 000F. Le revenu moyen journalier par tête est de 905 F et est supérieur au seuil de pauvreté absolu du PNUD qui est de 500 F FCA par jour. Toutefois, comparativement à ce seuil, l'incidence de la pauvreté est de 31,7%. Rapporté au seuil de pauvreté national, cette incidence est de 5,9% au niveau de notre échantillon tandis que l'incidence de la pauvreté urbaine au Burkina Faso était de 16,8% en 2005 (INSD). Ainsi donc, par rapport au pays, les enquêtés sont moins touchés par la pauvreté. Ce qui traduit une fois de plus que la pauvreté est relative.

Avec des tels revenus, les ménages occupent des logements aux multiples caractéristiques dont le prochain sous point en donne l'économie.

### II.3. Données relatives aux caractéristiques habitables

Parmi celles-ci, nous avons des variables quantitatives et des variables qualitatives.

#### II.3.1. Variables quantitatives

Le tableau 8 présente les statistiques descriptives des variables quantitatives des logements enquêtés.

**Tableau 8** : Statistiques descriptives des caractéristiques habitables quantitatives**AEROPORT**

	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Valeur constructive ou locative	FCFA	75 000	22 000 000	5 393 750	5 306 880
Nombre de chambres	unité	0	8	2,194	1,362
Sanitaires	unité	0	4	1,200	0,699
Superficie habitable	m <sup>2</sup>	12	150	53,538	32,103
Age de la maison	an	1	70	19,719	10,397

**SONABEL**

	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Valeur constructive ou locative	FCFA	100 000	22 000 000	6 937 500	5 351 322
Nombre de chambres	unité	0	9	2,667	1,846
Sanitaires	unité	0	4	1,400	0,809
Superficie habitable	m <sup>2</sup>	12	300	90,667	112,336
Age de la maison	an	1	100	27,933	19,914

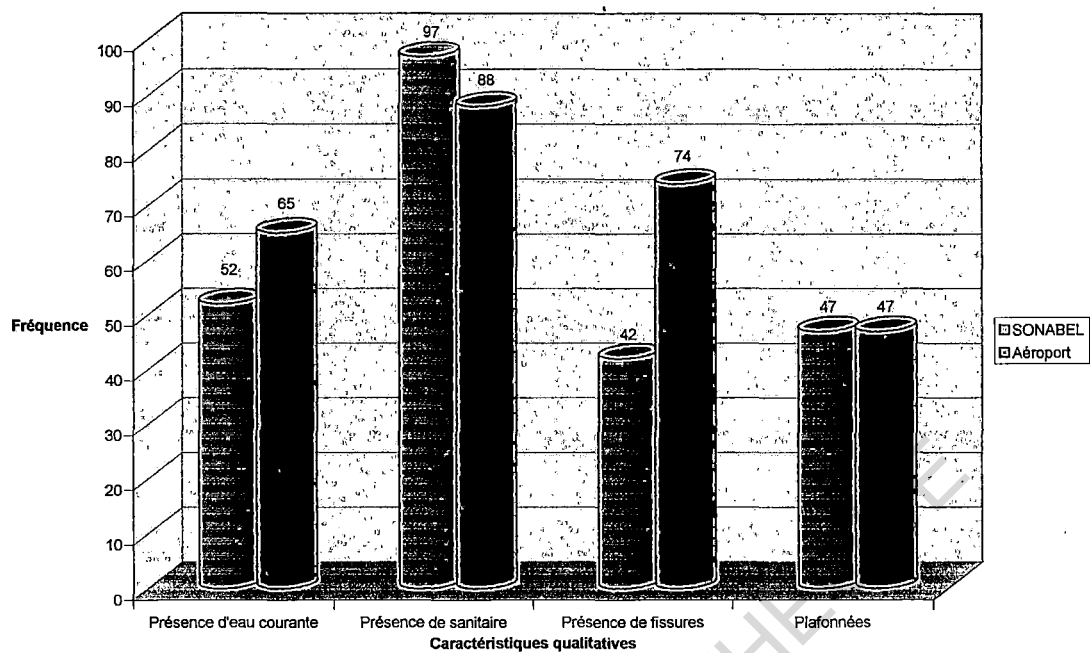
**Source** : Données d'enquête

Parmi les statistiques décrivant les caractéristiques habitables, il y a la valeur constructive ou locative, le nombre de chambres, le nombre de sanitaires, la superficie habitable et l'âge de la maison.

Dans notre échantillon, la valeur constructive moyenne est de 5 393 750 F pour la zone de l'aéroport et de 6 937 500F pour la SONABEL ; mais avec une disparité de l'écart type qui est de l'ordre de 5 300 000 F au niveau des deux sites. Ces logements d'un âge moyen de 21,52 ans, ont moyennement 2 chambres et 1 douche, construits sur une surface habitable comprise entre 12 m<sup>2</sup> et 150 m<sup>2</sup> au niveau de la zone riveraine de l'aéroport. Tandis qu'au niveau de la zone de la SONABEL, on y trouve des superficies habitables de 300m<sup>2</sup> avec une moyenne de 3 chambres. Force est cependant, de constater par lecture de l'écart type des variables, une grande disparité entre les caractéristiques des différents logements.

### II.3.2. Variables qualitatives

Parmi les variables intrinsèques des maisons qui influent sur leurs valeurs, il y a des variables quantitatives et les variables qualitatives. Le graphique 7 fait la synthèse des secondes.

**Graphique 7 :** Données de caractéristiques habitables qualitatives

**Source :** Données d'enquête

La valeur ou l'emplacement d'un logement est très souvent tributaire d'un certain nombre des variables qualitatives que sont le statut d'occupation, la présence d'un certain nombre de confort sanitaire (eau, douche..), la nature des matériaux de construction, la présence des fissures ...

Les statistiques font ressortir que nonobstant le fait que la plupart des habitations enquêtées au niveau de la zone riverainne de l'aéroport sont détenues par des propriétaires (72%) et sont construites en dur (68%) et plafonnées (47%), celles-ci ont en majorité (74%) des fissures dans les murs intérieurs. Cependant, seulement 42% des maisons enquêtées au niveau de la lanière jouxtant la SONABEL présentent des fissures dans les murs intérieurs. Cela présume que les nuisances sonores des avions sont, du fait du survol, la source de ces fissures ou que les rénovations se font rares. Dans cette même zone, 47% des habitats enquêtés sont plafonnés et 42% sont dotés de sanitaires internes.

En termes d'approvisionnement en eau courante, respectivement 52% et 64% des ménages sont connectés au réseau de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) au niveau de la SONABEL et de l'aéroport.

Selon la théorie des prix hédonistes, ces données ne suffisent pas à elles seules pour déterminer le choix du type de logement et de sa localisation par le ménage. Il existe deux autres groupes de caractéristiques que sont les variables de proximité et celles liées à l'environnement, notamment le bruit qui entrent comme arguments dans la fonction des prix hédonistes des logements.

#### II.4. Caractéristiques de proximité

Les recherches antérieures sur le choix de la résidence, retiennent comme variables de localisation, l'accessibilité à un certain nombre de services tels que l'école, le centre commercial, le service sanitaire, mesurée en terme de distance entre la résidence et ces lieux. Aussi, la distance entre la source de pollution et la résidence peut être prise en compte si aucune contradiction n'existe. Les données d'enquête fournissent les résultats résumés dans le tableau 9.

**Tableau 9** : Statistiques sur les caractéristiques de proximité en km du lieu de résidence

	SONABEL				AEROPORT			
	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type
Ecole primaire	0,02	5	0,6	1,82	0,01	2	0,72	0,32
Dispensaire	0,1	3,5	0,83	0,69	0,09	3	1,11	0,73
Lieu du travail	0,02	10	2,6	2,4	0,01	17	2,55	2,78
Source de pollution	0,01	2	0,7	0,6	0,01	5	0,92	0,55
Etablissement Secondaire	0,15	3	0,68	2,13	0,03	2	0,76	0,36
Centre commercial	0,01	3	0,63	0,52	0,01	3	1,07	1,28

Min = minimum    Max = maximum    Moy = Moyenne

**Source** : Données d'enquête

Le tableau 9 donne les caractéristiques d'accès des ménages riverains de deux sites aux différents lieux retenus dans l'étude comme pouvant influencer leur choix résidentiel.

A l'exception du lieu de travail qui est en général situé à une distance moyenne d'environ 2,5 km pour les riverains des deux sources de pollution, les autres infrastructures marchandes ou sociales (éducation et santé) sont en moyenne à moins de 1 km du lieu de résidence.

En moyenne, les ménages se situent respectivement à 700 m de la SONABEL et à 920 m de l'aéroport. Les deux extrêmes sont de 10 m et 5 km dans le cas de



l'aéroport et de 10 m et 2 km pour la SONABEL ; avec des écarts types respectifs de 550 m et 600 m. Cette forte concentration des ménages autour de ces deux sites les expose à de fortes nuisances sonores et surtout à des risques de survie en cas d'accident.

Cela présume que les caractéristiques de proximité de logement sont déterminantes dans le choix du lieu de résidence. Cette présomption pourra être confirmée par l'étude de corrélation entre ces variables et le loyer ou valeur du logement.

## II.5. Données relatives à la gêne due au bruit

Le croisement disciplinaire permet de bien appréhender les facteurs explicatifs de la gêne exprimée par les populations. En rappel, la gêne est un phénomène subjectif. Elle allie donc aspects physiologique, psychologique et environnemental. Nous entreprenons ici une analyse statistique de certaines des données ainsi obtenues. Cette analyse porte sur deux dimensions particulières : la mobilité résidentielle et les pratiques sociales en relation avec la gêne déclarée par les riverains.

Concernant la mobilité résidentielle, l'échantillon devait, lors de l'enquête, non seulement nous indiquer les raisons de la venue dans leur actuelle commune d'habitation, mais surtout leurs ambitions résidentielles dans la situation actuelle. Il ressort alors en premier lieu que respectivement 26,7 % et 29,2% des sous échantillons enquêtés au niveau de la SONABEL et de l'aéroport envisagent de déménager. Ces personnes étaient ensuite incitées à préciser les motifs à l'origine de ce projet. Le tableau qui suit rend compte de ces motifs.

**Tableau 10.** : Volonté de déménager : les raisons évoquées (en %)

Motivations	Bruit des avions ou SONABEL	Caractéristiques du logement*	Pollution atmosphérique	Relations de quartier ou voisinage	Raison Professionnelle
Aéroport	19	63	4	2	12
SONABEL	33	56	5	5	1

\* Pas assez grand, peu confortable, fissure...

**Source** : Données d'enquête

Les raisons évoquées sont disparates selon le site d'enquête avec toutefois une prédominance de la recherche d'un meilleur logement. En effet, 56 % de la population enquêtée avance cet argument comme raison de déménager du site de la centrale thermique contre respectivement 33% pour le bruit de la centrale, 5% pour la pollution atmosphérique, 5% et pour de raisons de relation avec le voisinage 1% pour des raisons professionnelles.

Au niveau de la zone côtoyant l'aéroport, les individus déménageraient à 63% pour rechercher les valeurs intrinsèques des logements, à 19% pour de raison de bruit des avions. Contrairement, à leurs homologues de l'autre site, les riverains de l'aéroport déménageraient pour des raisons professionnelles à 12%, à 4% pour des raisons de pollution atmosphérique et à 2% pour des raisons de voisinage.

Les résultats du sondage font ressortir que 71,06% des ménages n'ont pas l'intention de déménager tout simplement pour des raisons de manque de moyens pour payer ou louer un meilleur logement. Le tableau 11 donne le détail des motifs d'habiter les sites exposés.

**Tableau 11** : Motifs d'habiter le site (en %)

Motifs Site	Profession	Famille	Pas le choix	Autre	Total
Aéroport	28,3	62,8	3,4	5,5	100
SONABEL	10	78,3	3,4	8,3	100

**Source** : Données d'enquête

Les ménages sont à 71% originaires des sites d'enquête contre 39% venus d'ailleurs. Les riverains de l'aéroport habitent le site à 28,3% pour des raisons professionnelles à savoir pour être plus proche de leur lieu de travail ; 62,8% le font pour vivre auprès de leurs familles. Ces scores sont respectivement de 10% et 78,3% pour ceux de la centrale thermique. La raison familiale est plus poussée au niveau du site de la SONABEL que celui de l'aéroport. Ceci peut s'expliquer par le fait que le site de la centrale thermique est constitué des quartiers traditionnels. Le système d'attribution de parcelles couplé au problème financier contraint certains ménages (3,4%) à habiter le site. D'autres motifs non spécifiés, expliquent respectivement à hauteur de 5,5% et à 8,3% les raisons d'habiter les zones

riveraines de l'aéroport et de la centrale thermique Ouagadougou 1 de la SONABEL.

## **II.6. Problèmes informationnels ou institutionnels**

Ces problèmes sont abordés sous trois angles. Nous abordons d'abord, la connaissance par les populations des actions menées par les autorités pour résoudre ou réduire les nuisances sonores que les deux sources de pollution leur fait subir. Ensuite, la connaissance des problèmes de santé et la fréquentation des centres hospitaliers par les populations riveraines sont traitées et enfin le bilan des résultats du test audiométrique est présenté.

### ***II.6.1. Action de l'Etat en matière de lutte contre la pollution acoustique***

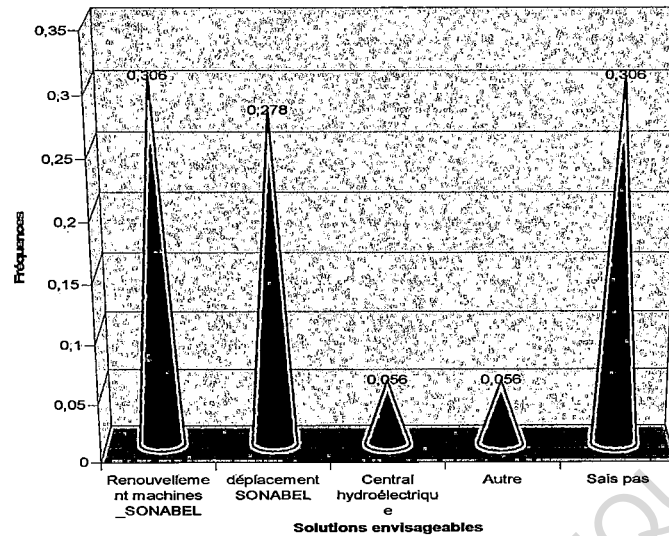
La visibilité et la transparence des actions menées par les autorités sont l'une des clés de la bonne gouvernance. L'adhésion et la participation des populations aux programmes des Etats passent par leur vulgarisation et par la sensibilisation des agents économiques.

En matière environnementale, cet état de fait est plus que primordial. Dans la présente recherche, les enquêtés étaient sollicités à indiquer dans un premier temps s'il était possible de réduire les nuisances sonores des avions et des centrales thermiques de la SONABEL. Au niveau des riverains de la SONABEL, sur 100 individus interrogés, 71 personnes estiment qu'il est possible de réduire la pollution de la centrale, contre 17 qui pensent le contraire et 2 qui ne savent rien. Quant à ceux de l'aéroport, 78 enquêtés sur 100 cotent pour la possibilité de diminution des préjudices de la pollution sonore des avions contre 22 qui supposent le contraire.

Le graphique ci-après présente les réponses à la question qui constitue l'ossature de la deuxième étape. Cette question portait sur les moyens susceptibles d'amoinrir les nuisances du bruit des avions et des centrales thermiques.

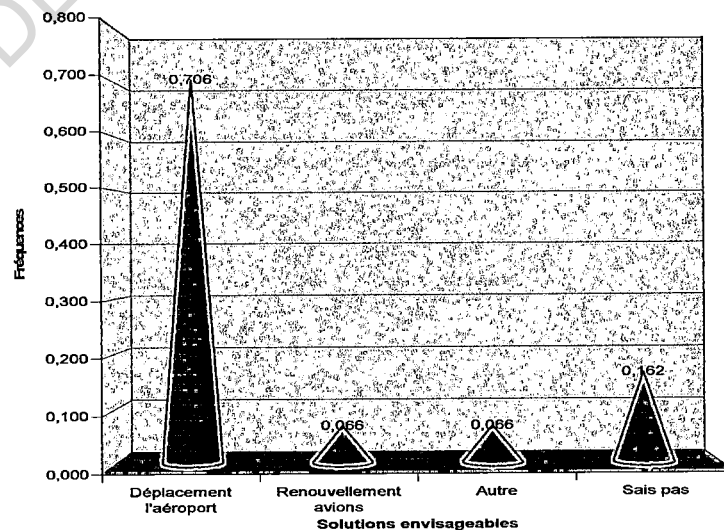
**Graphique 8 : Solutions envisageables (en %)**

(i) Au niveau du site de la SOANBEL

**Source :** Données d'enquête

Au niveau de ce site, sur 100 personnes interrogées, 31 proposent le renouvellement des machines, 28 suggèrent le déplacement des centrales thermiques de la SONABEL hors des zones d'habitation et 6 conseillent le recours aux centrales hydroélectriques comme solutions envisageables pour réduire les nuisances sonores de la SONABEL. Il est à noter que 6 personnes suggèrent d'autres solutions comme la construction d'un mur insonorisé, l'utilisation de tuyau de filtrage ou de briseurs de bruit.

(ii) Au niveau du site de l'aéroport

**Source :** Données d'enquête

Le même questionnaire a été administré aux riverains de l'aéroport. A ce niveau, sept (7) personnes sur dix (10) souhaitent le déplacement de l'aéroport pour juguler le problème des nuisances sonores des avions. Le renouvellement des avions et l'autorisation uniquement donnée aux avions à haute technologie d'exploiter la plateforme aéroportuaire, n'ont été cités chacun d'eux que par une seule personne sur les dix comme solution à ce problème. Les deux autres personnes n'ont émis aucune opinion.

Les enquêtés après avoir donné, selon eux, les solutions envisageables, se sont prononcés sur les mesures prises par l'Etat pour réduire les nuisances sonores dont ils sont victimes. Il ressort de l'analyse descriptive des données que 99 personnes sur cent au niveau des riverains de l'aéroport, estiment que l'Etat ne fait rien pour lutter contre le phénomène. Ce score est de 84 sur cent au niveau du site de la SONABEL. Ces résultats sont illustrés par le tableau 12.

**Tableau 12** : Action de gestion de la pollution par l'Etat (en %)?

	Aéroport	SONABEL
Oui	1	16
Non	99	84
Total	100	100

**Source** : Données d'enquête

Dans le but d'évaluer la participation des riverains à un éventuel programme de lutte contre les nuisances sonores, les enquêtés se sont prononcés sur leur contribution à des actions collectives. Sur l'ensemble de l'échantillon, 32 personnes sur 100 ont déjà participé à une œuvre communautaire avec cependant une disparité entre les deux sites d'enquête. En effet, ce rapport est de 45 enquêtés sur 100 au niveau des riverains de la SONABEL tandis qu'au niveau de l'aéroport il est de 26%. Ces différents résultats sont consignés dans le tableau 13.

**Tableau 13:** Participation à une œuvre communautaire

		Source de pollution		Total
		SONABEL	Aéroport	
Déjà participé à une oeuvre communautaire	Oui	13,24	18,63	31,87
	Non	16,76	51,37	68,13
Total		30,00	70,00	100

**Source :** Données d'enquête

La somme moyenne des contributions est de 4 583 F pour les riverains de la SONABEL et 3 103 F pour ceux de l'aéroport. Il est à noter cependant une forte dispersion (plus de 97%) au niveau de ces deux sites. Ces résultats présagent une certaine disponibilité des riverains à participer à un éventuel programme communautaire ; confirmant ainsi la solidarité africaine. Une synthèse des montants exprimés est faite dans le tableau suivant.

**Tableau 14 :** Montant des contributions par les riverains

	SONABEL	Aéroport
Minimum en F	500	400
Maximum en F	75000	60000
Moyenne en F	4583,3	3102,92
Ecart type en F	4473,25	3008,08
Coefficient de variation	0,98	0,97

**Source :** Données d'enquête

### II.6.2. Problèmes d'hypertension et d'audition au sein de l'échantillon d'étude

Le tableau de contingence ci-après fait ressortir les pourcentages des deux pathologies (tension et audition) susceptibles d'être expliquées par la pollution sonore au sein de notre échantillon d'enquête.

**Tableau 15 :** Fréquences de problèmes d'audition et d'hypertension (en %)

		Problème d'audition			
		Oui	Non	ND	Total
Problème de tension	Oui	1,79	5,49	0,12	7,40
	Non	2,98	84,84	0,72	88,54
	ND	0,36	1,91	1,79	4,06
	Total	5,13	92,24	2,63	100,00

**Source :** Données d'enquête

Seulement 1,79% de l'échantillon affirment souffrir de problèmes de tension et d'audition. Globalement, 7,40% et 5,13% ont relevé avoir respectivement des problèmes de tension et d'audition. Ces différents taux laissent apparemment prévoir que dans la zone d'exposition au bruit des avions et de la centrale thermique Ouagadougou 1, la proportion des individus qui souffrent de ces maladies est assez faible. Cependant, cela dénote d'une méconnaissance du phénomène de la perte auditive imputable à la pollution sonore et d'une faible fréquentation de nos populations aux différents centres sanitaires pour des visites périodiques. Cette situation est due à l'absence de couverture sociale pour la prise en charge des malades et d'un système de mutuelles de santé embryonnaire.

Nous pensons que la population africaine en général et celle du Burkina Faso en particulier, frappée par une paupérisation grandissante aurait à gagner en fédérant leur énergie et leur revenu à travers la mise en place des mutuels de santé. Ce qui l'incitera à fréquenter les centres sanitaires et partant de connaître son état de santé.

Ces malades recourent respectivement aux soins traditionnels à 4%, aux soins modernes à 85% et aux deux à la fois à 11%. Pour ce faire, les montants révélés pour leur prise en charge par crise sont en moyenne de 19 090 F avec un écart type de 3 243 F. Pour la plupart des patients, la crise est répétitive. Ainsi, dans l'échantillon, la fréquence moyenne annuelle de crise est de 4.

En Afrique, et plus particulièrement au Burkina Faso, la survenue d'une maladie dans une famille engendre une inactivité d'un ou de plusieurs autres membres. Ceux-ci sont affectés au soin du malade. Ainsi, l'enquête fait ressortir que 24,6% des cas de malades ont entraîné l'immobilisation d'un autre membre de la famille pour une durée moyenne de 6 jours par crise. Ainsi, en considérant le nombre d'arrêts de travail du patient et de son accompagnateur, il ressort une moyenne de 12 jours par crise. Ce qui entraîne un manque à gagner pour la famille correspondant au revenu que ceux-ci auraient pu apporter au budget familial *ceteris paribus*.

La présente recherche aurait pu se contenter de ces résultats. Mais, l'aspect complexe du phénomène étudié nécessite des tests médicaux de la population

concernée. Le point suivant présente les résultats du test audiométrique réalisé sur 50 individus tirés de façon aléatoire.

### II.6.3. Bilan des résultats du test audiométrique

Les tests d'audiométrie réalisés avec le concours du service d'ORL de l'hôpital Yalgado Ouédraogo durant les mois de mars, d'avril et d'octobre 2007 révèlent que sur les personnes examinées 34% connaissent des problèmes d'audition à des degrés divers.

La comparaison entre les résultats d'enquête (tableau n°16) et ceux résultant du test audiométrique montrent une très grande disparité. Ce qui confirme une fois de plus que le problème d'audition évolue de façon insidieuse et est irréversible et ceci à l'insu des agents économiques ; ces derniers fréquentant très peu les centres hospitaliers pour d'éventuelles visites périodiques de santé.

**Tableau 16 :** Résultats comparés de problèmes auditifs en %

	Problème d'audition	
	Résultats d'audiométrie	Résultats d'enquête
Oui	34	5,13
Non	66	92,24

**Source :** Examen d'audiométrie

Cette étude a permis à la majorité des personnes examinées de connaître leur statut d'audition. Les problèmes rencontrés peuvent être rangés par niveau d'otite et par niveau de perte auditive. Le tableau n°17 fait la synthèse de ces résultats.

**Tableau 17 :** Résultats par graduation de surdité

Type de problème	Fréquence en %	Perte auditive en dB.HL		
		Minimale	moyenne	Maximale
Scotome unilatéral	13	33	41,5	50
Scotome bilatéral	47	20	42,14	60
Hypoacousie unilatérale	7	40	40	40
Hypoacousie bilatérale	20	31	35,5	40
Surdité unilatérale neuro sensorielle	7	73	73	73
Surdité mixte	7	52	52	52
Total	100			

**Source :** Examen audiométrique



Sur 100 enquêtés ayant des problèmes d'audition, 60 souffrent d'un déficit auditif matérialisé par un fossé sur la courbe audiométrique aux fréquences de son de 4 kHz (scotome ou encoche) soit pour une oreille (scotome unilatéral), soit pour les deux oreilles (scotome bilatéral). La perte auditive moyenne pour ces individus est de 41,5 dB.HL pour le scotome unilatéral et de 42,14 pour le scotome bilatéral. Il est à noter cependant un écart type respectivement de 8,5 dB.HL et de 13 dB.HL pour les deux catégories de scotome rencontrées. Selon les spécialistes, ce type de surdité est caractéristique de celle due au bruit.

La perte modérée de l'audition ou hypoacousie touche sur 100 personnes respectivement 20 personnes de deux oreilles et 7 personnes d'une seule oreille. Le déficit auditif moyen pour ces personnes se situe à 40 dB.HL pour ceux souffrant d'hypoacousie unilatérale et à 35,5 dB.HL pour l'hypoacousie bilatérale.

Du diagnostic audiométrique, il ressort également que 7% des personnes examinées endurent une surdité unilatérale de type neurosensorielle avec une perte auditive moyenne de l'ordre de 73 dB.HL. Aussi, la même proportion souffre d'une surdité mixte avec une décote moyenne d'audition de 52 dB.HL. La surdité est dite mixte si elle relève d'un problème de transmission et de perception (confère annexe 4).

Du point de vue statistique, le problème auditif touche plus la gente féminine que celle masculine car 60% de personnes examinées et souffrant de perte auditive sont des femmes alors que l'échantillon de personnes examinées est constitué de 54,5% d'hommes et de 45,5% de femmes. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'elles restent plus longtemps au foyer, exposées, compte tenu de leur rôle de ménagère. Cet état de fait apparaît plus clair quand on analyse les statistiques des malades en rapport à leur profession.

L'analyse de corrélation de Pearson par le test de Khi-Deux révèle une non dépendance entre le problème auditif et la durée de vie sur le site ; de même que le sexe de l'individu. Le phénomène touche alors l'individu indépendamment de son sexe et de sa durée de vie sur le lieu exposé, au regard des probabilités associées aux valeurs empiriques de Khi-Deux qui sont respectivement de 0,1600 et de 0,1634. Ces probabilités sont supérieures au seuil de tolérance le plus élevé communément admis (10%). Ce sont alors les aspects physiologiques comme le

fait souligner (Graven, 1974) qui sont à la base du problème. Cela est autant vrai que parmi les personnes examinées, il y a des personnes qui ont plus de 37 ans de vie sur le site et qui ne connaissent aucun problème ; comme il existe aussi des nouveaux venus (3 ou 4 ans) qui ont des problèmes. Mieux encore, dans l'échantillon, il y a eu des individus de la même famille et ayant la même durée de vie sur le site qui présentent des situations contradictoires : l'un connaît un problème auditif et l'autre non.

Le problème de surdité est aussi fonction de l'intensité de bruit (**Nivbruit**) et du site d'habitation (**Site**). En effet, le test de Khi-Deux fait ressortir une dépendance entre le niveau de bruit et ces deux variables exogènes, car les probabilités (0,049 et 0,0899) qui leur sont associées sont inférieures aux seuils de tolérance respectifs de 5% et 10%.

Le tableau 18 présente les résultats du test d'indépendance entre les variables exogènes et le problème d'audition.

**Tableau 18** : Test de Khi-Deux entre le problème d'audition et les variables exogènes

Variabiles	Khi Deux	P associée
Durée de vie sur le site	23,85	0,1600
Age	8,73**	0,0330
Sexe	1,94	0,1634
Historique	3,74	0,1544
Nivbruit	7,45**	0,0499
Site	0,21*	0,0899
Profession	7,35	0,3930

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Données d'audiométrie

Ces différentes pathologies auditives entraînent des coûts pour les patients et leurs familles.

Les prix de prothèses varient selon le type de surdité et la qualité du matériel. Ils oscillent entre 300 000 F CFA et 1 200 000 F CFA pour les intra auditifs. Les surdités liées au problème de la pollution acoustique sont le plus souvent irréversibles. Par conséquent, l'estimation du coût doit tenir compte des coûts directs et indirects.

Les coûts de soins incorporent les frais de consultation, ceux des examens et surtout les coûts d'appareillage pour la correction de l'audition des sujets malades. Ces coûts varient selon le statut public ou privé des centres sanitaires. Le tableau ci-après donne une synthèse de ces différents coûts directs.

**Tableau 19:** Coûts directs liés au problème d'audition en F CFA

Rubrique		Milieu hospitalier	Clinique privée
Consultation médecin		2 000	10 000
Examen	Audiométrie	3 500	10 000
	Tympanométrie	5 000	12 000
Appareillage audioprotectique	Embout*	-	40 000
	Prothèse	-	[300 000 – 1 200 000]

\* A raison de 20 000 F l'unité

**Source :** Construit à partir des interviews réalisées auprès des spécialistes de l'ORL

De façon globale, les soins dans les centres publics sont moins onéreux que dans les centres privés. Ainsi, il ressort du tableau 19 une absence d'appareillage dans le milieu hospitalier public. Le matériel auditif n'est disponible qu'auprès des opérateurs privés.

Il faut noter que des coûts indirects viennent se greffer à ceux mentionnés dans le tableau n°19. Il s'agit entre autres, des coûts de transaction (coût de déplacement et le temps d'attente), la gêne ressentie du fait de la maladie et du port des prothèses et du dommage moral ou psychologique. A tous ces coûts, il faut ajouter ceux liés à la perte pécuniaire due à la morbidité du patient et de l'immobilisation de l'accompagnant. Dans le cas présent, ces coûts sont estimés en moyenne à 6 jours de perte de travail par épisode de maladie. Statistiquement, il est difficile de les appréhender. Ils ne seront pris en compte que par des techniques économétriques.

### III. Analyse de corrélation

A la suite des sections précédentes qui ont été consacrées à la description des différentes données, la présente section a pour objectif de déterminer les relations possibles entre les variables exogènes et les variables endogènes des modèles retenus. La procédure employée est la statistique descriptive à travers des tests de Khi-Deux et des coefficients de corrélation.

### III.1. Analyse des facteurs explicatifs de la gêne due au bruit

La démarche consiste à tester le caractère explicatif ou non des facteurs psychologique et socio-économique susceptibles d'expliquer la gêne due au bruit des avions et de la centrale thermique exprimée par les riverains. Les études antérieures avancent comme hypothèse que la sensibilité au bruit et à la gêne résultante peut dépendre du cursus résidentiel des habitants, du vécu de l'environnement sonore et des craintes pour l'avenir.

En rappel, le test d'hypothèse est le suivant :

$H_0$  : indépendance des caractères

$H_1$  : dépendance des caractères

Le critère de décision consiste à rejeter l'hypothèse d'indépendance ( $H_0$ ) si la valeur de la probabilité associée à la statistique de Khi-Deux calculée est inférieure au seuil  $\alpha$ . On l'accepte dans le cas contraire.

Dans la catégorie des variables déterminant le niveau de gêne, nous nous sommes intéressés aux facteurs propres au bruit comme l'intensité du bruit et la durée d'exposition, et les facteurs propres au sujet. Les tests d'indépendance réalisés ont permis d'obtenir les résultats résumés dans le tableau 20.

**Tableau 20** : Test d'indépendance entre les variables explicatives et la gêne

Variables	SONABEL		Aéroport	
	Khi Deux	P associée	Khi Deux	P associée
Age	27,84316	0,9267	470,8031*	0,0959
Sexe	5,281385	0,8716	11,15274	0,2654
Praudition	14,29563	0,1599	16,01097*	0,0667
Prtension	14,53819	0,1498	6,351242	0,7043
Fenêtre	16,12862*	0,0960	5,50149	0,2000
Ecoratv	20,11688**	0,0282	5,799121	0,7598
Durée sur le site	295,2348**	0,0261	280,2721	0,4673
Nivbruit	292,7984*	0,0791	483,1300**	0,0448
Maldormir	23,69821***	0,0084	19,76481**	0,0194
Craintefuture	14,60111	0,1473	22,84544***	0,0066
Incisanté	17,85812*	0,0574	19,63186**	0,0203

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Estimation / Données enquête

Selon les données de ce tableau, au niveau de la zone de la SONABEL, l'hypothèse d'indépendance entre d'une part, le niveau de gêne et la durée sur le site, l'écoute de la radio ou / et de la télévision (**Ecoratv**) et d'autre part, la contrainte de fermer ou d'ouvrir la fenêtre (**fenêtre**), et l'intensité du bruit (**Nivbruit**) ne peut être acceptée respectivement aux seuils de 5% et 10% puisque les probabilités calculées sont inférieures aux probabilités théoriques. Ainsi, l'intensité du bruit et la durée d'exposition à celui-ci ont respectivement aux seuils de 5% et 10% une influence sur le niveau de gêne ressentie par les populations riveraines de la SONABEL. Le fait de mal dormir (**Maldormir**) pour cause de bruit est corrélé au seuil de 1% à la gêne dévoilée par les riverains des sites. La majeure partie des facteurs individuels (âge et sexe) se révèle indépendant de la gêne ressentie. Il en est de même pour les facteurs liés aux problèmes de tension (**Prtension**) et d'audition (**Praudition**). En effet, avec des probabilités de 0,1599 et 0,1498 associées respectivement aux variables Prtension et Praudition, on conclut qu'au seuil d'erreur de 10% ces deux variables sont indépendantes du niveau de gêne révélée par les riverains de la SONABEL.

Pour les ménages résidant aux alentours de l'aéroport, parmi les facteurs relatifs au bruit et à la durée d'exposition, seul le premier est lié à la gêne. L'âge, au niveau des facteurs individuels et le problème d'audition influent sur la gêne donnée par les riverains de l'aéroport. La crainte pour l'avenir sonore, ainsi que le fait de croire que le bruit a une incidence négative sur la santé affectent le niveau de la gêne. Les résultats révèlent également l'existence d'une relation de dépendance entre les activités quotidiennes comme l'acte de fermer ou d'ouvrir sa fenêtre et la gêne exprimée au seuil de 1%.

Ces résultats fournissent les facteurs susceptibles d'expliquer le niveau de gêne révélée par les populations riveraines des deux sources de pollution. Cette procédure permet de déterminer en première analyse les liens entre les variables. C'est en quelque sorte une adaptation du modèle théorie au contexte socioéconomique de la zone d'enquête. Nous pouvons essayer de déterminer aussi ceux de la valeur des propriétés.

### III.2. Analyse des facteurs explicatifs de la valeur des propriétés

En théorie économique, notamment la théorie des prix hédonistes, il a été montré que la valeur d'une maison est fonction de ses caractéristiques intrinsèques, des caractéristiques de proximité et des facteurs environnementaux. Ici, il est effectué des tests de Khi-Deux entre la variable endogène (valeur de maison) et les variables explicatives qualitatives d'une part ; et d'autre part, la matrice de corrélations entre les caractéristiques quantitatives est présentée afin de dégager une éventuelle relation entre elles.

Du tableau 21, il apparaît la non acceptation de l'hypothèse nulle d'indépendance avec une marge d'erreur de première espèce de 1% pour les relations entre le prix d'une maison et la plupart des régresseurs. Le test de Khi-Deux fait ressortir donc une dépendance entre la valeur des maisons et leurs différentes caractéristiques intrinsèques (eau, matériau de construction, plafond, douche) à l'exception des caractéristiques comme la présence de fissure, au niveau de la zone riveraine de la SONABEL comme de l'aéroport. Il est à noter qu'au niveau de l'aéroport, la présence d'eau n'est pas liée à la valeur du logement car le seuil de tolérance le plus élevé (10%) est inférieur à la probabilité (0,1863) associée à ladite variable (**Eau**). Le type d'habitat explique la valeur de la maison avec une marge d'erreur de 10%. Le niveau de gêne défini comme une variable muette n'a pas aussi une relation de dépendance avec la valeur des maisons. C'est dire alors que les riverains ne choisissent pas leur maison en fonction du niveau de gêne et de la présence ou pas de fissures ou du type d'habitat. Les caractéristiques représentant l'aspect criminalité de la zone d'habitation ont un aspect ambivalent au niveau de la zone environnante de l'aéroport. En effet, si le fait que le "ménage ait été victime d'un vol ou d'un cambriolage" peut influencer sur la valeur du logement (à un seuil de 10%) ; l'aspect "témoin d'un vol" ne le peut pas. La criminalité qui est approchée ici par le délit (témoin de vol : **Temvol** et ménage victime de vol : **Mvic**) n'est pas liée à la valeur des propriétés de la zone côtoyant la SONABEL. Le tableau ci-dessous en fait l'état des résultats du test de Khi-Deux.

**Tableau 21 :** Test de dépendance entre les variables qualitatives explicatives et la valeur des maisons

Variables	SONABEL		Aéroport	
	Khi Deux	P associée	Khi Deux	P associée
Douche	6,456*	0,0914	74,96*	0,0556
Eau	14,281***	0,0025	66,33	0,1863
Fissure	2,578	0,4613	58,05	0,4364
Gêne	0,444	0,9309	64,33	0,2354
Matériau	15,123***	0,0017	76,17**	0,0457
Plafond	20,596***	0,0001	88,57***	0,0047
WC	13,571***	0,0036	105,43***	0,0001
Temvol	3,50	0,3211	68,98	0,1328
Mvic	3,27	0,3522	71,31*	0,0963

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

Source : Estimation / Données enquête

La valeur d'une maison est aussi fonction d'un certain nombre de variables quantitatives comme la superficie habitable, le nombre de chambres, et les caractéristiques de proximité. Le recours aux coefficients de corrélation entre la variable endogène (prix / loyer) et les variables exogènes permet de saisir le sens et le degré de la relation entre ces différentes variables. La matrice de corrélation ci-après donne le sens et l'intensité des différents liens entre variables.

Des matrices de corrélations ci-dessous, il ressort une relation négative entre la valeur des logements et le niveau de bruit d'une part, et d'autre part entre elle et la plupart des caractéristiques de proximité comme la distance du lieu de résidence par rapport à la source de pollution et à certaines infrastructures tels que les établissements scolaires, le lieu de travail. Cependant, la distance par rapport à un centre commercial joue positivement sur la valeur des maisons. L'éloignement par rapport à un centre sanitaire a un effet ambivalent au niveau des deux sous échantillons (négatif au niveau de la SONABEL et positif au niveau de l'aéroport). L'âge de la maison, le nombre de chambres et la superficie habitable sont quelques unes des variables intrinsèques pouvant influencer sur le prix d'une habitation. Il ressort de l'analyse de corrélation simple que si l'âge de la maison a un effet négatif, les deux autres ont un effet positif sur la valeur de la maison. Ces différents résultats sont résumés par le tableau 22.

**Tableau 22** : Matrice de corrélation entre les variables quantitatives du modèle des prix hédonistes**(i) SONABEL**

	Lnvalc	Sup	Nbruit	Distrav	Dissonabel	Disecol	Disdispen	Dislyc	Disccom	Agmais	Nbchb
Lnvalc	1,00										
Sup	0,63	1,00									
Nbruit	-0,34	-0,37	1,00								
Distrav	-0,21	0,04	-0,30	1,00							
Dissonabel	0,32	0,34	-0,88	0,33	1,00						
Disecol	-0,14	0,14	-0,33	-0,01	0,25	1,00					
Disdispen	-0,14	0,02	0,01	0,24	0,00	-0,20	1,00				
Dislyc	-0,03	0,02	-0,06	0,10	0,01	0,22	0,51	1,00			
Disccom	0,05	0,08	-0,33	0,32	0,22	0,25	0,40	0,44	1,00		
Agmais	-0,06	0,05	0,04	0,02	-0,12	-0,23	-0,06	-0,19	-0,21	1,00	
Nbchb	0,77	0,78	-0,27	0,22	0,27	0,17	0,13	0,22	0,10	0,18	1,00

Source : Données d'enquête

**(ii) Aéroport**

	Lnvalc	Sup	Nbruit	Distrav	Dissonabel	Disecol	Disdispen	Dislyc	Disccom	Agmais	Nbchb	Taille
Lnvalc	1,00											
Sup	0,62	1,00										
Nbruit	-0,27	-0,06	1,00									
Distrav	-0,14	0,001	-0,33	1,00								
Disaérop	-0,10	0,01	-0,73	0,23	1,00							
Disecol	-0,19	0,10	-0,21	-0,17	0,16	1,00						
Disdispen	0,07	0,06	-0,14	0,29	-0,07	0,13	1,00					
Dislyc	-0,10	0,02	-0,13	0,22	0,26	0,38	0,32	1,00				
Disccom	0,04	0,03	-0,20	0,42	-0,03	0,27	0,43	0,37	1,00			
Agmais	-0,21	0,11	0,12	-0,13	-0,04	-0,12	-0,25	-0,14	-0,23	1,00		
Nbchb	0,49	0,46	-0,22	0,22	0,05	-0,02	0,23	0,12	0,24	-0,14	1,00	
Taille	0,25	0,31	0,07	-0,04	0,04	0,05	-0,21	0,04	-0,14	0,10	0,27	1,00

Source : Données d'enquête

Les résultats de ces tests de corrélation présentent un intérêt économétrique certain comme le préconise la démarche socioéconométrique. Il s'agit de déterminer a priori les relations susceptibles de provoquer un problème de multicollinéarité. Ainsi, de ces tests, il ressort qu'au niveau de deux sous échantillons, il y a une forte corrélation négative entre l'intensité de bruit et la distance par rapport à la source de pollution. En effet, les matrices de corrélations ci-dessus font ressortir un



coefficient de corrélation de l'ordre de  $-0,88$  pour le sous échantillon SONABEL et  $-0,73$  pour celui de l'aéroport. Théoriquement, cela se justifie car plus on est proche de la source de pollution plus on reçoit un niveau de bruit élevé. Cela présume en terme économétrique une multicollinéarité entre ces deux variables explicatives dans les modèles de prix hédonistes. Pour ce faire, nous considérons uniquement notre variable d'intérêt (niveau de bruit) dans l'estimation.

Parmi les variables intrinsèques, la superficie peut être corrélée avec le nombre de pièces que compte la maison. C'est le cas au niveau de la zone riveraine de la SONABEL avec un coefficient de corrélation de  $0,78$  entre la superficie habitable et le nombre de chambres. Afin d'éviter les problèmes de multicollinéarité, nous examinons seulement une d'elles dans la régression en l'occurrence le nombre de chambres qui a un coefficient de corrélation plus élevé avec la valeur de la maison par rapport à la superficie habitable. Ce problème ne se pose pas au niveau de l'autre zone d'enquête (aéroport). Cet état de fait pourrait s'expliquer par le non respect des dimensions lors de la construction des logements. En effet, il existe par exemple des maisons avec une pièce qui ont des superficies habitables plus élevées que celles des maisons à deux voire trois chambres.

### **Conclusion**

Les riverains des deux sites ont des caractéristiques habitables et sociodémographiques presque similaires. Ce chapitre a mis en évidence les différentes variables entrant dans les trois modèles construits pour tester nos hypothèses de recherche. L'analyse de corrélation a révélé une certaine présomption de multicollinéarité entre le nombre de chambres et la superficie au niveau du sous échantillon de la SONABEL. Ces résultats permettent d'en tenir compte dans l'estimation des modèles économétriques.

---

## Chapitre IV : Analyse économétrique et discussion des résultats

---

Ce chapitre à la suite des trois précédents, procède à l'évaluation du processus entier de cette recherche et montre la pertinence ou la validité des résultats par rapport au problème, aux questions, aux hypothèses, au cadre de référence et met les résultats en relation avec d'autres travaux.

Le chapitre s'articule autour de trois sections. Il commence par une présentation des résultats d'estimation du modèle des prix hédonistes. La deuxième section présente les interprétations du modèle de Poisson consacré à l'explication des facteurs déterminants le problème de surdité. Une discussion sur les variables influençant le niveau de gêne ressentie par les riverains des deux sources de pollution est faite dans la troisième section à la lumière des résultats d'un modèle probit multinomial ordonné.

### I. Analyse du modèle des prix hédonistes

Le pouvoir explicatif d'un modèle dépend de sa validité et de sa robustesse au plan économétrique. Cette première section présente les résultats d'estimation, vérifie la validité du modèle et sa puissance explicative du phénomène étudié.

#### I.1. Effet du bruit et des autres caractéristiques sur la valeur des propriétés

Théoriquement, il est montré que le loyer est fonction des caractéristiques habitables, de la proximité et des caractéristiques environnementales. Les premiers résultats de statistique descriptive font ressortir d'une part, une corrélation relativement moyenne entre chacune des variables prises individuellement et la variable expliquée ; et d'autre part, une présomption de multicolinéarité entre certains régresseurs. Alors qu'en est-il au plan économétrique ? Quel est le pouvoir explicatif global du phénomène par le modèle ? Quelle est la significativité individuelle de chacun des paramètres ?

### I.1.1. Appréciation de la spécification

La méthode des moindres carrés ordinaires étant licite dans l'estimation de ce modèle selon le chapitre 2, alors le pouvoir explicatif de ce modèle est déterminé par le niveau de  $R^2$  ajusté, sa validité par le test de Fisher et la significativité individuelle des paramètres par la probabilité associée à chacun d'eux. Quant à la robustesse, elle peut être cernée par divers tests tels que le test d'autocorrélation, de multicolinéarité, d'hétéroscédasticité et le test sur la forme fonctionnelle.

Ces tests sont appliqués sur les modèles à estimer suivants :

Modèle 1 (pour le site de la SONABEL)

$$\begin{aligned} \ln P = & \beta_0 + \beta_1 \text{Disccom} + \beta_2 \text{Dislyc} + \beta_3 \text{Disdispen} + \beta_4 \text{Disecol} + \beta_5 \text{Distrav} + \beta_6 \text{Agemais} + \beta_7 \text{Eau} \\ & + \beta_8 \text{Materiau} + \beta_9 \text{Nbchambre} + \beta_{10} \text{Sanitaire} + \beta_{11} \text{Plafond} + \beta_{12} \text{Criminalité} + \beta_{13} \text{Nivbruit} \\ & + \beta_{14} \text{Taille} + \varepsilon \end{aligned} \quad (4.1)$$

Modèle 2 (pour le site de l'aéroport)

$$\begin{aligned} \ln P = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{Disccom} + \alpha_2 \text{Dislyc} + \alpha_3 \text{Disdispen} + \alpha_4 \text{Disecol} + \alpha_5 \text{Distrav} + \alpha_6 \text{Agemais} + \alpha_7 \text{Eau} \\ & + \alpha_8 \text{Materiau} + \alpha_9 \text{Nbchambre} + \alpha_{10} \text{Sanitaire} + \alpha_{11} \text{Plafond} + \alpha_{12} \text{Criminalité} + \alpha_{13} \text{Nivbruit} \\ & + \alpha_{14} \text{Taille} + \alpha_{17} \text{Sup} + \varepsilon \end{aligned} \quad (4.2)$$

Le tableau 23 présente le dictionnaire des variables retenues pour l'estimation de deux modèles ci-dessus.

**Tableau 23** : Dictionnaire des variables pour l'estimation des prix hédonistes

Variables	Description des variables
Disccom	Distance par rapport au centre commercial le plus proche (en km)
Dislyc	Distance par rapport à l'établissement secondaire fréquenté par la famille (en km)
Disdispen	Distance par rapport au centre médical le plus proche (en km)
Disecol	Distance par rapport à l'établissement primaire fréquenté par la famille (en km)
Distrav	Distance par rapport au lieu de service du chef de famille (en km)
Agemais	Age de la maison (en années)
Eau	Présence d'eau courante dans la cour (1 si oui et 0 sinon)
Materiau	Matériau de construction (1 si en dur et 0 sinon)
Nbchambre	Nombre de chambres
Sanitaire	Présence de sanitaires internes (1 si oui et 0 sinon)
Plafond	Maison plafonnée (1 si oui et 0 sinon)
Criminalité	Vol ou cambriolage fréquent dans le secteur (1 si oui et 0 sinon)
Nivbruit	Niveau de bruit (en dB(A))
Taille	Nombre de membres du ménage
Sup	Superficie habitable (en m <sup>2</sup> )

Source : Construit par l'auteur

Les résultats de l'estimation par MCO des deux modèles de prix hédoniste sont consignés dans le tableau 24.

**Tableau 24** : Estimation du modèle de prix hédoniste

Variable	Site de la SONABEL (modèle 1)		Site de l'aéroport (modèle 2)	
	Coefficient	Probabilité	Coefficient	Probabilité
Discom	.0,186986	0,3963	0,088411	0,7052
Dislyc	-0,164917	0,3205	-0,181604	0,2288
Disdispen	-0,315267	0,0859	0,124328	0,3233
Disecol	-0,190101*	0,0162	-0,327090**	0,0128
Distrav	-0,207307**	0,0000	-0,143221***	0,0009
Agemais	-0,018316***	0,0009	-0,018491***	0,0039
Eau	0,384256*	0,0954	0,371095**	0,0401
Materiau	0,666630***	0,0048	0,890111***	0,0000
Nbchambre	0,571376***	0,0000	0,162004*	0,0876
Sanitaire	0,758781***	0,0010	0,638334**	0,0419
Plafond	0,436283*	0,0590	0,458519**	0,0229
criminalité	0,394575*	0,0608	-0,153214	0,3720
Nivbruit	-0,005614*	0,0605	-0,002700**	0,0189
Superficie	-	-	0,009092***	0,0000
Taille	0,000612	0,9885	0,083485**	0,0339
C	16,97511***	0,0000	23,98112***	0,0000
R <sup>2</sup>	0,855177		0,702351	
R <sup>2</sup> ajusté	0,805806		0,662508	
F-statistique	17,32131***		28,91***	
Probabilité (F-statistique)	0,000000		0,000000	
Durbin-Watson statistique	1,794874		1,878334	

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Estimation / Données enquête

Le test de Durbin-Watson permet d'observer une possible présence d'autocorrélation des perturbations. C'est un test important car les sources d'autocorrélation peuvent être l'omission d'une variable explicative importante, une mauvaise spécification du modèle ou, tout simplement, une erreur de mesure de la variable dépendante. La statistique de Durbin-Watson est une valeur appartenant à l'intervalle [0;4]. Elle est dite normale si elle avoisine la valeur 2. Dans le cadre de cette thèse, le problème d'autocorrélation qui était à craindre est celle de l'autocorrélation spatiale. La procédure d'estimation a consisté à ranger les données selon les quartiers d'enquête afin de capter l'effet d'influencer du voisinage sur les valeurs des maisons. Ainsi, il ressort du tableau 24 que les deux modèles ne souffrent d'aucun problème d'autocorrélation des erreurs car les valeurs du Durbin-Watson calculées (respectivement de 1,795 et de 1,878) sont proches de 2. Ces valeurs de Durbin-Watson signifient que la probabilité de présence d'autocorrélation des perturbations peut être jugée comme limitée. Ce qui

confirme le fait général d'absence de problème d'autocorrélation des erreurs lorsque les variables sont en coupe instantanée. Aussi, la crainte d'autocorrélation spatiale couramment rencontrée au niveau de l'analyse des prix hédonistes, évoquée dans la partie théorique ne se pose pas ici.

De même, le test d'hétéroscédasticité par la méthode du multiplicateur de Lagrange révèle que l'hypothèse de non sphéricité des erreurs est rejetée. La statistique de Lagrange est obtenue à partir de la formule  $LM = nR^2$ , où  $R^2$  est le coefficient de détermination obtenu de la régression des résidus du modèle de base sur les variables exogènes et leurs carrés et  $n$  la taille de l'échantillon. Cette statistique est comparée à la valeur de Khi-Deux théorique à  $p$  degrés de liberté ; où  $p$  est le nombre de variables exogènes (exclusion faite de la constante).

En rappel, le test du multiplicateur de Lagrange se formule comme suit :

$H_0$  : Modèle homocédastique

$H_1$  : Modèle hétéroscédastique

Le tableau 25 donne le résultat du test pour les deux modèles.

**Tableau 25** : Test d'hétéroscédasticité du multiplicateur de Lagrange au seuil de 5%

	$n$	$R^2$	$LM$	$p^{34}$	$\chi^2(p)$	Décision
Modèle 1	60	0,30	18	23	35,472	Accepte $H_0$
Modèle 2	140	0,13	18,2	25	37,682	Accepte $H_0$

Source : Estimation/ Eviews

Pour un seuil  $\alpha$  donné, la règle de décision est le rejet de  $H_0$  si  $LM > \chi^2_\alpha(p)$  et son non rejet dans le cas contraire. Le tableau 25 fait ressortir respectivement un  $LM$  de 18 et 18,2 pour les modèle 1 et 2 avec des valeurs théoriques correspondantes de Khi-Deux de 35,472 et 37,682 au seuil de 5%. Par conséquent, pour les deux modèles, l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs est acceptée car les  $LM < \chi^2_\alpha(p)$ .

<sup>34</sup> Seules les effets quadratiques des variables quantitatives ont été prises en compte ; celles des variables qualitatives n'ayant aucun sens.

La fiabilité des résultats est très souvent tributaire de la qualité de l'ajustement. C'est le  $R^2$  ou coefficient de détermination qui, conventionnellement, mesure la qualité de l'ajustement des estimations de l'équation de régression dans le cadre de la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO). De nos estimations, il est respectivement de 0,80 pour le sous échantillon SONABEL et de 0,66 pour celui de l'aéroport. Dans ces cas, les valeurs du  $R^2$  ajusté attestent que les différentes variables exogènes utilisées expliquent respectivement à 80% dans le modèle 1 et à 66% pour le modèle 2, la variabilité des prix des logements. Ce sont des résultats considérés comme très corrects par la littérature économique, notamment celle portant sur le sujet qui nous préoccupe (cf. Nelson, 2004).

En outre, la statistique de Fisher pour chacune des deux estimations est aussi significative au seuil de 1% au regard des probabilités qui leur sont associées ( $P = 0,000000$ ). Ceci montre que globalement, les coefficients sont significativement différents de zéro au seuil de 1%.

Au regard des résultats de ces différents tests, les acquis de l'économétrie autorisent à considérer les modèles présentés ci-dessus comme bons. Nous pouvons donc passer à l'analyse de la cohérence économique des résultats à partir des fonctions de prix hédonistes tirées des deux modèles. Autrement dit, ces modèles étant valides, les différents tests d'hypothèse peuvent être faits sans ambiguïté.

Le tableau 26 résume les résultats des tests sur la signification conjointe des différents groupes de variables. Nous nous sommes intéressés d'une part, à l'effet conjoint des variables intrinsèques des habitats sur le loyer et d'autre part, à celui des variables de proximité sur la même variable endogène. Les résultats indiquent que les coefficients des variables intrinsèques incluses dans le modèle des prix hédonistes sont globalement significatifs au seuil de 1% pour les deux modèles. Ainsi donc, l'âge de la maison, la superficie habitable, le nombre de chambres, la présence de sanitaire et la présence de plafond ont conjointement un effet très significatif sur la valeur des logements des riverains de la SONABEL et de l'aéroport.

Les variables de proximité retenues pour expliquer la valeur des habitats sont aussi globalement très significatifs au seuil de 1% quel que soit le modèle considéré. La proximité du lieu d'habitation des différentes infrastructures socioéconomiques tels que les établissements d'enseignements tant primaire que secondaire, le centre commercial, le lieu de travail et les services sanitaires ont conjointement un effet fortement significatif sur le niveau du prix des logements.

**Tableau 26** : Tests d'effets conjoints des différentes caractéristiques

	Hypothèses nulles	$F$	$P$	Décision
Modèle 1	Effet conjoint des variables de proximité $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$	7,498	0,000039	Rejet de $H_0$ au seuil de 1%
	Effet conjoint des variables intrinsèques $H_0 : \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = 0$	22,459	0,000000	
Modèle 2	Effet conjoint des variables de proximité $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$	4,3783	0,000198	Rejet de $H_0$ au seuil de 1%
	Effet conjoint des variables intrinsèques $H_0 : \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = \alpha_9 = \alpha_{10} = \alpha_{11} = 0$	21,075	0,000000	

$F$  = Statistique de Fisher calculée     $P$  = probabilité associée à la statistique  $F$

**Source :** Nos estimations sur Eviews

Les tests de signification d'ensemble ont permis de montrer que les coefficients des facteurs intrinsèques des propriétés ainsi que les variables de proximité ont des effets conjoints significatifs sur les valeurs des habitats au seuil de 1%. Toutefois, ces tests ne révèlent pas la signification individuelle de chaque variable explicative sur la variable endogène.

### *1.1.2. Significativité individuelle des paramètres*

Après le test d'hypothèses jointes des différents groupes de variables, nous analysons dans ce sous point la significativité individuelle de celles-ci. Pour ce faire, les conventions en économétrie utilisent le t de Student. Sur cette base et en considérant les résultats du tableau 24, nous pouvons faire les commentaires ci-après.

---

**(i) Les variables de proximité**

Parmi les variables de proximité, nous nous sommes intéressé à la distance qui sépare la demeure des riverains à un certain nombre d'infrastructures socioéconomiques tels les établissements d'enseignement, le dispensaire, le centre commercial, le lieu de service et la distance par rapport à la source de pollution. Il est à noter que cette dernière variable a été écartée de l'estimation des modèles à cause du problème de multicolinéarité qu'elle engendrerait avec la variable intensité de bruit qui est notre variable d'intérêt.

Les paramètres de distance à l'exception de celles séparant le domicile de l'école des enfants d'une part, et du lieu de service d'autre part, n'ont aucun effet sur le choix du domicile. Ceci est conforme aux statistiques descriptives qui révèlent que 67,3% des ménages choisissent leur site d'habitation pour des raisons familiales (être près de leur famille).

Ces variables affectent négativement la valeur de l'habitat. Ainsi, plus l'agent économique est proche de son lieu de service ou de l'école de ses enfants, plus il est prêt à prendre une maison plus chère. Ce comportement est du point de vue économique, rationnel car il pourrait rattraper cela sur les coûts de déplacement dans un univers où le cours des hydrocarbures varie au gré de la conjoncture internationale et nationale.

Les infrastructures comme le centre commercial, le lycée des enfants n'ont pas d'effet sur le choix de résidence d'un ménage. Cela peut s'expliquer par la recherche de la qualité d'enseignement quelle que soit la distance ou par le coût de celui-ci. Le résultat ambivalent entre les deux types d'établissements (école et lycée) pourrait s'expliquer par le fait qu'au niveau de l'école (maternelle ou primaire), ce sont les parents qui sont chargés du déplacement des enfants pour des raisons de sécurité, compte tenu du bas âge des enfants concernés. Ce qui entraîne un manque à gagner en terme de temps et de carburant pour de longues distances. Cet aspect est amoindri pour le lycée car les enfants devenus adolescents, peuvent se déplacer soit à vélo ou en bus. Aussi, les ménages propriétaires n'ont souvent pas le choix car la plupart d'entre eux acquièrent leur logement par attribution lors



des lotissements (13,4% dans notre échantillon). Cet état de fait se ressent aussi chez les locataires à travers les motifs de déménagement. En effet, selon les statistiques descriptives, dans 60% des cas, une personne ne déménagerait que pour obtenir une maison plus spacieuse et plus confortable et à 19% pour des raisons de tranquillité (absence de bruit). Ces résultats sont disparates selon les sources de pollution comme l'illustre le tableau 10. Il existe également une conformité avec les résultats obtenus par les tests de Pearson.

## **(ii) Les variables intrinsèques de l'habitat**

Les variables intrinsèques des habitats utilisées dans les estimations sont l'âge de la maison, le nombre de chambres, la superficie habitable, le type de matériau utilisé, la présence d'eau dans la cour, ainsi que le fait que la maison soit plafonnée ou pas. Toutes ces variables sont significatives à des seuils divers. Ce qui signifie que les agents économiques accordent de l'importance à ces variables dans leur choix résidentiel. Les signes attendus sont aussi respectés. Ainsi, la valeur d'une maison croît avec le type de matériau utilisé, la superficie habitable, le nombre de chambres, la présence de plafond ainsi que celle de l'eau. Cependant, elle décroît avec l'âge. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de la matrice de corrélation en ce qui concerne les variables quantitatives (âge de la maison, superficie habitable et nombre de chambre). En effet, la matrice de corrélation fait ressortir d'une part, une forte corrélation positive entre la valeur d'une maison et ses caractéristiques tels le nombre de chambres et la superficie habitable; et d'autre part, une forte corrélation négative entre la valeur d'une maison et son âge. Le résultat sur l'âge est conforme aux résultats de Clark et Herrin (2000) et de Rodriguez et Sirmans (1994). L'effet quadratique de l'âge trouvé d'une part, par Stevenson (2004) et d'autre part, par Goodman et Thibodeau, 1997 n'est pas vérifié dans le cadre de notre étude. L'argument de rénovation des maisons avancé par ces auteurs pour l'expliquer, n'est pas très significatif dans notre contexte pour deux raisons. Tout d'abord, la majorité (56%) des maisons a moins de 20 ans d'existence ; mieux il est à noter que 33% des habitations enquêtées ont été construites il y a moins de 6 ans. La rénovation, même si elle est souvent faite, est très légère selon les résultats de la statistique descriptive. Dans la plupart du temps, les agents préfèrent reconstruire ailleurs que de rénover. Ce type de comportement

s'explique par le snobisme ; l'agent économique préférant dire « j'ai  $n$  maisons quelle que soit leur qualité, plutôt que j'ai une maison bien rénovée ».

### **(iii) Les variables du ménage**

Dans la gamme des variables extrinsèques, la taille du ménage influe théoriquement sur le prix de l'habitat. La taille du ménage est liée positivement à la valeur de la maison. Ainsi, plus le nombre de membres du ménage augmente, plus celui-ci cherche une maison plus spacieuse, ce qui lui occasionnera plus de dépenses. Ce résultat est seulement vérifié au niveau de la population riveraine de l'aéroport au regard de la significativité statistique du paramètre rattaché à ladite variable. En effet, nous pouvons admettre avec une erreur de première espèce de 5% que la taille du ménage y a un effet sur le loyer. Cependant, au niveau de la zone riveraine de la SONABEL, cette variable n'est pas statistiquement significative.

Aussi, ce résultat est différent de celui de Thuiller (1994) qui trouvait que les ménages faisaient de l'économie avec sa taille dans les dépenses de location. En effet, selon lui, la relation serait négative. A notre avis, cela est moins vraisemblable car en considérant la capacité de charge de la maison, nous pouvons envisager tout au plus une relation quadratique. La relation peut être dans un premier temps conforme à son résultat (négatif) en ce sens qu'on peut augmenter la taille du ménage jusqu'à un certain seuil (capacité de charge) de la maison, mais après celui-ci, le ménage est obligé d'opérer une extension ou prendre une plus grande maison. Ce qui entraîne le second signe : d'où l'effet quadratique. Cet effet quadratique n'est cependant pas vérifié pour aucun des sous échantillons présents. Cela s'explique dans notre contexte par le fait qu'en ville il est très fréquent de trouver des ménages à faible taille avec de grandes superficies habitables.

### **(iv) Les variables environnementales**

Les variables environnementales sont aussi déterminantes dans le choix du lieu de résidence. Dans cette logique, nous avons testé la significativité de la criminalité et du niveau de bruit sur la variable endogène. Les résultats font ressortir un effet

ambivalent pour la criminalité. Elle est statistiquement significative au niveau de la zone riveraine de la SONABEL avec un signe inattendu et ne l'est pas dans le voisinage de l'aéroport. Par contre, notre variable de base qui est l'intensité du bruit est hautement significative statistiquement pour les deux zones d'étude, avec l'effet théorique attendu. Ainsi, une maison soumise à un niveau de bruit plus élevé qu'une autre aura une valeur plus faible que celle-ci toutes choses égales par ailleurs.

Compte tenu de la forme fonctionnelle utilisée, les paramètres obtenus au niveau du tableau 24 en dehors de leur signe, n'ont aucune signification économique. Afin, de mieux comprendre le sujet, intéressons nous aux implications des résultats.

## I.2. Implication économique des résultats

Les résultats obtenus se traduisent en terme d'implication en effets marginaux des variables significatives statistiquement, en estimation de la fonction de demande inverse et à celle du coût social.

### I.2.1 Evaluation des CAP marginaux

Partant d'une fonction semi-logarithmique, par exemple  $\log P = \sum \beta_i x_i$  : (les paramètres  $\beta_i$  étant connus), nous souhaitons calculer la variation relative de  $P$  résultant d'une variation unitaire d'une des variables  $x_i$ , notons le  $x_1$ . Le raisonnement consiste alors à se donner deux valeurs de  $P$ , correspondant à des valeurs des  $x_i$  toutes identiques, sauf pour  $x_1$  :  $x_1^B = x_1^A + 1$ .

Autrement dit, la maison B se situe dans une zone où le niveau de  $x_1$  dépasse d'une unité celui de la zone où est située la maison A.

En écrivant la différence entre les deux valeurs de  $P$  on a :

$$\log P^B - \log P^A = \beta_i \quad (4.3)$$

$$\Rightarrow \log\left(\frac{P^B}{P^A}\right) = \beta_i \Rightarrow \frac{P^B}{P^A} = 10^{(\beta_i)} \quad (4.4)$$

$$\text{Par définition, } NDI = \frac{\Delta P}{P} = \frac{P^B - P^A}{P^A} = \frac{P^B}{P^A} - 1 \quad (4.5)$$

En combinant les équations (4.4) et (4.5) on obtient :  $NDI = 10^{(\beta_i)} - 1$

Cette dernière formule donne la variation relative de  $P$  pour une variation unitaire de la variable  $x_i$  dans le cas de l'utilisation du logarithme base 10. Cependant, l'utilisation du logarithme népérien permet d'obtenir cet effet marginal en multipliant le coefficient  $\hat{\beta}_i$  par cent. Autrement dit, toute variation de la variable exogène (qualitative) d'une unité entraîne celle de la variable endogène de cent fois  $\hat{\beta}_i$  pourcent. Pour une variable quantitative, cet effet correspond à une variation de 1% de celle-ci sur la variable expliquée.

Ceci permet d'obtenir les effets marginaux des différentes variables. Nous nous intéressons tout d'abord aux variables intrinsèques et les variables de proximité statistiquement significatives. Le tableau 27 en donne la teneur des résultats.

**Tableau 27** : Effets marginaux des variables significatives

Variables	Site de la SONABEL (modèle 1)	Site de l'aéroport (modèle 2)
Disdispen	-31,5267	-
Disecol	-19,0101	-32,7090
Distrav	-20,7307	-14,3221
Agemais	-1,8316	-1,8491
Eau	38,4256	37,1095
Materiau	66,6630	89,0111
Nbchambre	57,1376	16,2004
Sanitaire	75,8781	63,8334
Plafond	43,6283	45,8519
superficie	-	0,9092
Taille	-	0,083485

**Source** : Estimation / Données d'enquête

Ces différents effets marginaux permettent de déterminer les prix hédoniques des caractéristiques en appliquant, au vue de la forme fonctionnelle retenue, la formule:

$$\hat{\beta}_i \bar{P} \text{ car pour une forme semi-logarithmique on a : } \frac{\frac{\Delta P}{P}}{\Delta X_i} = \beta_i \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta X_i} = \beta_i P$$

où  $\hat{\beta}_i$  et  $\bar{P}$  sont respectivement le coefficient ( $\beta_i$ ) estimé de la variable  $X_i$  et le prix moyen estimé de l'habitation. Les résultats sont résumés dans le tableau 28.

**Tableau 28** : Prix hédoniques des caractéristiques en F CFA

Variable	Site de la SONABEL (modèle 1)	Site de l'aéroport (modèle 2)
	<i>Prix hédonique</i>	<i>Prix hédonique</i>
Disdispen	2 187 165	-
Disecol	1 318 826	1 764 242
Distrav	1 438 192	772 498
Agemais	127 067	99 736
Eau	2 665 776	2 001 594
Materiau	4 624 746	4 801 036
Nbchambre	3 963 921	873 809
Sanitaire	5 264 043	3 443 014
Plafond	3 026 713	2 473 137
superficie	-	49040
Taille	-	4 503

**Source** : Estimation / Données d'enquête

Les effets de l'âge de la maison (**Agemais**) sur la valeur des immobiliers au niveau des deux sites sont semblables. Ainsi, pour deux maisons ayant les mêmes caractéristiques, la différence d'âge entraîne une dépréciation de la valeur de la plus séculaire des deux du même ordre de grandeur de 1,8 % au niveau de deux sites d'enquête. En terme absolu, cette dépréciation est d'environ 127 067 F CFA dans le premier modèle et 99 736 F CFA dans le second. Cette variable est donc perçue de la même manière par les riverains des deux sources.

La valeur de ces maisons dépend aussi du nombre des chambres (**Nbchambre**). En effet, le prix augmente lorsque la maison dispose d'un plus grand nombre de pièces, soit 16,02 % par chambre supplémentaire au niveau de la zone riveraine de l'aéroport. Au niveau de la SONABEL cet accroissement est de l'ordre de 57%. En terme absolu, ces variations sont respectivement de 873 809 F et de 3 963 921 F pour une maison moyenne dans chacune des zones polluantes ci-dessus. Ces résultats concordent avec ceux observés dans d'autres études sur les prix des attributs des logements. Muriel et al. trouvaient un taux d'augmentation de la valeur immobilière de 21,6% par pièce supplémentaire. La différence entre les deux taux pourrait s'expliquer par une croissance modérée lorsque la maison compte plus d'un certain nombre de pièces. A cet effet, Muriel et al (op.cit) trouvaient qu'au-delà de 4 pièces, la hausse de la valeur passait de 21,6% à 3,3% pour toute pièce supplémentaire.

La superficie habitable est aussi une des variables quantitatives intrinsèques des maisons qui influent sur leurs prix. Au niveau des riverains de l'aéroport, le prix hédoniste d'un mètre carré de surface habitable est de 49 040 F CFA. Autrement dit, pour une maison moyenne, tout mètre carré supplémentaire engendre un gain de 49 040 F CFA dans la vente de celle-ci. Ce montant est dans la fourchette de rémunérations qu'offrirait le projet ZACA aux habitations touchées par ledit projet. Le dédommagement allait de 10 000 F CFA le mètre carré (pour les maisons en banco) à 100 000 F CFA le mètre carré pour les habitations situées en face des voies butimées.

Pour les variables qualitatives intrinsèques (sanitaire, eau, matériau et plafond), le consentement à payer se calcule comme la différence du prix estimé entre deux modalités au niveau moyen de l'échantillon. Autrement dit, le prix hédonique correspond à l'accroissement de valeur qu'entraînerait l'ajout de cette caractéristique à une maison moyenne qui n'en aurait pas. Ainsi, par exemple, une salle de bain, un WC a un prix hédoniste élevé de l'ordre de 5 264 043 F CFA au niveau de la zone riveraine de la SONABEL et de 3 443 014 F CFA au niveau de l'aéroport ; c'est-à-dire que l'ajout d'une douche interne rapporte un loyer mensuel supplémentaire respectif de 10 967 F CFA et 7 173 F CFA au niveau de deux sites. De même, le fait de construire en « dur » accroît la valeur de la maison de 66,66% au niveau du site de la SONABEL et de 89% au niveau de l'aéroport. Ainsi, pour un propriétaire de terrain, la construction de son bâtiment moyen<sup>35</sup> en « dur » lui fait engranger un loyer mensuel supplémentaire en terme absolu du même ordre de grandeur de 10 000 F CFA par rapport à un autre propriétaire ayant sa maison en banco *ceteris paribus*.

Pour l'interprétation des résultats des variables de proximité, nous raisonnons sur le consentement marginal à payer pour se rapprocher des infrastructures socioéconomiques, c'est-à-dire le consentement à payer pour une réduction marginale de la distance qui sépare le lieu de résidence de ces infrastructures.

L'économie urbaine considère la distance au centre d'emploi comme l'attribut de localisation le plus important (Cavailhès, 2005). Son effet marginal est de -20,73%

---

<sup>35</sup> Par rapport à l'échantillon d'étude

au niveau de la zone SONABEL et de -14,32% au niveau du site de l'aéroport. Ce qui engendre un prix hédoniste moyen de l'ordre de 19 312 F<sup>36</sup> par an et par kilomètre pour les riverains de l'aéroport et 35 954 F pour ceux de la SONABEL. Ces valeurs sont raisonnables car en rapportant à la journée nous obtenons respectivement 52,9 F et 98,5 F CFA par kilomètre qui sont convergents d'une part, avec les calculs retenus souvent par les administrations burkinabè soit 75 F CFA au kilomètre et d'autre part, avec les résultats trouvés par des études similaires antérieures (74 euros par an et par kilomètre chez Cavailhès, Op. cit.). Economiquement, cela signifie que pour des habitations identiques, celle qui est plus proche du lieu de travail revient plus chère car l'agent économique peut obtenir une sorte de compensation en terme de coût de déplacement. D'autres auteurs (Gravel et al., 2001 ; Kazmierczak-Cousin cité par Cavailhès Op. cit.) attribuent cette différenciation au temps moyen mis pour rejoindre le lieu d'emploi.

Parmi les variables de proximité, les riverains accordent aussi une intention particulière à l'accessibilité aux infrastructures d'éducation, notamment celle du primaire. Ce fait se confirme dans la présente recherche avec des prix hédonistes mensuels de l'ordre de 2 747,50 F CFA pour les riverains de la SONABEL et de 3 675,50 F CFA pour ceux de l'aéroport. Ainsi, tout rapprochement d'un kilomètre de l'école de fréquentation des enfants du lieu de résidence entraîne au cours de l'année scolaire un gain journalier de 12 à 15 F CFA par kilomètre pour les ménages riverains respectifs de la SONABEL et de l'aéroport.

Intéressons nous maintenant au niveau de dépréciation par variation unitaire du bruit (ou NDI) et comparons le avec les résultats antérieurs trouvés ailleurs.

Dans le cas présent, notre variable d'intérêt est l'intensité du bruit. Les résultats d'estimation du tableau 24 permettent d'obtenir l'indice de dépréciation de la valeur des biens immobiliers par unité de bruit supplémentaire (ou *NDI* – Noise Depreciation Index : Walters, 1975) au niveau des deux sites d'étude. Ainsi, estimée par les équations du prix des logements des modèles 1 et 2 ci-dessus,

---

<sup>36</sup> Pour toute la durée de vie de la maison (40 ans) la perte est de :  $5\,375\,750 \times 0,143224$  soit alors 19 312 F par an.

l'influence du niveau sonore étant respectivement de -0,0056 pour la zone riveraine de la SONABEL et de -0,00270 pour celle de l'aéroport, le NDI est alors de 0,56% pour la SONABEL et 0,27% pour l'aéroport.

Au regard des modèles économétriques d'où ils sont tirés, ces résultats s'interprètent comme suit : chaque unité de Leq dB(A) différenciant une commune accueillant des logements moins valorisés d'une commune antithétique conduit, pour les premières, à une dévalorisation de 0,56 % du prix de l'immobilier dans la zone riveraine de la SONABEL. Ce score est de 0,27% dans les secteurs jouxtant l'aéroport.

Nous admettons ici, en ce qui concerne l'impact du bruit des avions, que le NDI issu de notre application est pleinement convergent avec ce qu'indique la littérature sur la question. En effet, selon le tableau 1 du chapitre 1, tous les résultats des études menées en la matière, stipulent une décote immobilière pour cause de bruit des avions, et ce, toutes choses égales par ailleurs. Certes, ces taux de dépréciation varient parfois grandement d'un environnement à l'autre. Différentes méta-analyses (Smith et Huang, 1993 Schipper et *al.*, 1998 ; Button, 2003 ; Nelson, 2004), ou simplement des recensions (Bateman et al., 2001 ; Navrud<sup>37</sup>, 2002 ; McMillen, 2004) indiquent clairement que les contextes spatiaux et temporels, les types de marchés immobiliers observés, leur degré de segmentation, l'indice acoustique retenu, la spécification des fonctions explicatives... ne sont pas étrangers à cette différence. Mais, la très grande majorité fait apparaître une décote moyenne située entre 0,6 % et 0,9 %. Schipper et al., (op. cit.) proposent même une moyenne de 0,83 %. Force est cependant de constater que cette décote tend d'après les résultats, à augmenter sur les 20 dernières années et ceci à cause de l'intensification du trafic aérien. Le NDI trouvé dans la présente recherche est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par d'autres auteurs au niveau des aéroports de Réno, de Sydney, de Bâle entre autres. Collins et Evans (1994) trouvaient un NDI du même ordre de grandeur (0,31% à 0,62%) avec une autre méthode d'analyse.

---

<sup>37</sup> Cité par Nelson (2007)



Comparativement au résultat de Thiombiano (2003), nous dirons que la dépréciation est plus poussée dans le cas présent. Cela confirme la remarque précédente de Nelson (Op.cit) et Schipper (Op.cit) selon laquelle la dépréciation s'accroît avec l'évolution du trafic. Aussi, l'écart s'explique par l'élargissement à toutes les catégories d'avions desservant l'aéroport de Ouagadougou. En effet, le niveau de bruit utilisé dans la présente régression est une moyenne pondérée par la fréquence de chaque avion ; ce qui n'était pas le cas dans Thiombiano (Op. cit.).

Ces niveaux de NDI permettent d'obtenir pour les différents échantillons un consentement marginal respectivement de 14 563,125 F et de 38 850 F par dB(A) et par ménage moyen au niveau de la zone riveraine de l'aéroport et de la SONABEL. Ces consentements à payer sont supérieurs à ceux révélés directement par les riverains des deux sites qui sont respectivement de 3 102 F et 4 583 F. De tels montants traduisent une sous estimation du consentement, confirmant une fois de plus le fait que le CAP sous estime l'effet d'un problème lorsqu'il est utilisé à la place du CAR par la méthode d'évaluation contingente. Mais, comme le stipule la théorie des prix hédonistes, chaque individu choisit son lieu de résidence en fonction de son consentement à payer. De ce fait, il existe une certaine disparité entre les consentements à payer selon les zones, tout comme la demande d'un bien ordinaire dans la théorie traditionnelle du consommateur qui varie en fonction du revenu du consommateur et de son prix. Nos résultats sont donc convergents avec la théorie économique. Une analyse plus détaillée est faite dans la section sur le bénéfice lié à la réduction d'un dB(A).

La fonction de prix hédoniste estimée  $\hat{P}(\cdot)$  ne révèle en elle-même rien sur les éléments sous-jacents qui l'ont générée et ne permet donc pas, en général, d'en déduire la fonction de demande inverse. Rosen (1974) indique alors qu'il est possible d'estimer à partir du prix implicite de l'attribut  $k$  et des quantités des différents attributs du logement, les paramètres de la fonction de demande inverse de cette caractéristique  $k$  dès lors que l'on connaît les caractéristiques  $C$  des acheteurs (revenus, âge, niveau d'éducation, ...). Il convient alors de régresser le prix marginal implicite de l'attribut  $k$  (ici le bruit),  $\hat{p}_k$ , obtenu à partir de l'équation hédoniste, sur les quantités des différents  $K$  attributs et sur les

caractéristiques des acheteurs. On obtient ainsi la fonction de demande inverse  $\hat{p}_k = \hat{p}(Z,C)$ .

### *1.2.2. Estimation de la fonction de demande inverse*

L'estimation du coût social dû à la pollution sonore par la méthode des prix hédonistes passe par celle de la demande inverse. Comme indiqué dans la méthodologie, à ce niveau, on régresse le consentement avec les revenus des riverains et les niveaux de pollution sonore tout en considérant l'offre des caractéristiques comme fixe. Dans la présente recherche, nous avons inclus d'autres variables sociodémographiques des enquêtés. Le tableau 29 donne la liste des variables utilisées dans le modèle.

**Tableau 29** : Liste des variables du modèle

Variables	Référence	Modalité de référence
Intensité de bruit en dB(A)	Nivbruit	
Age	Age	
Revenu mensuel total	Y	
Sexe	Sexe	Féminin
Niveau d'instruction	Nivinst	Aucun
Statut d'occupation	Statoccup	Locataire

Source : Construit par l'auteur

L'estimation de la fonction de demande inverse au niveau des deux sous échantillons (SONABEL, aéroport) donne les résultats suivants :

**Tableau 30** : Estimation de la fonction de demande inverse

Variable	Site de la SONABEL (modèle 1)		Site de l'aéroport (modèle 2)	
	Coefficient	Probabilité	Coefficient	Probabilité
Lnivbruit	14,69453**	0,0210	18,65193*	0,0927
LnY	0,416552**	0,0363	1,186497***	0,0000
Primaire	0,676096*	0,1001	0,612613*	0,0553
Secondaire	1,719251***	0,0003	1,210133***	0,0003
Supérieur	1,664097**	0,0282	0,896308***	0,0063
Age	0,024005*	0,0515	0,015084**	0,0412
Sexe	-0,383698*	0,0958	0,322795	0,1673
Statoccup	0,641839*	0,0900	0,460959*	0,0679
C	-60,91977**	0,0220	-89,31051*	0,0687
R <sup>2</sup>	0,456294		0,405056	
R <sup>2</sup> ajusté	0,371007		0,369800	
F-statistique	9,234***		11,48903***	
Probabilité (F-statistique)	0,00000		0,000000	
Durbin-Watson statistique	1,89		2,030569	

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Estimation / Données enquête

Les modèles sont économétriquement valides au regard des paramètres clefs comme le R<sup>2</sup> ajusté, le Durbin-Watson, et le Fisher. Les résultats du tableau 30 appellent plusieurs commentaires.

(i) Pour les deux zones d'étude, les coefficients des modalités de la variable niveau d'instruction sont tous significatifs au plus à 5% sauf celui associé à la modalité « primaire » au niveau de la zone riveraine de la SONABEL, qui, lui, l'est à 10%. L'effet de l'instruction sur le consentement à payer apparaît nettement. La modalité sans aucun niveau d'instruction étant prise comme référence, les signes positifs observés indiquent que le consentement à payer est une fonction croissante du niveau d'instruction. L'examen des coefficients montre que les ménages de niveau secondaire ont l'effet marginal le plus élevé, viennent ensuite ceux du niveau supérieur et enfin les ménages du niveau primaire avec un effet marginal de 0,68 pour les riverains de la SONABEL et 0,61 pour ceux de l'aéroport. Un tel résultat confirme une fois de plus la théorie du capital humain qui stipule que l'éducation est un facteur de discernement.

(ii) Il apparaît que la variable âge influence le niveau du consentement à payer. Les personnes âgées supportant de moins en moins l'effet du bruit, sont donc prêtes lorsqu'elles sont dans des zones à pollutions élevées, à payer pour bénéficier d'un

environnement plus sain. En effet, tout accroissement de l'âge de 1% entraîne une hausse du consentement à payer respectivement de 0,02% pour les citoyens de la zone de la SONABEL et de 0,015% pour ceux de l'aéroport.

(iii) Au niveau des deux zones, les résultats révèlent que le statut d'occupation a aussi un effet positif sur le consentement à payer. La modalité de référence étant "locataire", le signe positif obtenu traduit clairement que les propriétaires terriens sont plus disposés à contribuer pour rendre leur cadre de vie plus sain. Le passage du statut de locataire à celui de propriétaire accroît le consentement à payer de 0,64% au niveau de la SONABEL et de 0,46% au niveau de l'aéroport. Cela est plausible du moment que les locataires, à tout instant, peuvent changer de lieu de résidence s'ils constatent que l'atmosphère ne leur convient plus. Ce qui n'est pas le cas pour les propriétaires.

(iv) L'autre variable pertinente (sexe) susceptible d'expliquer le consentement à payer que nous avons intégré dans le modèle, a des résultats ambivalents au niveau des deux zones. En effet, si elle est statistiquement significative au niveau de la SONABEL, elle ne l'est pas dans les contrées de l'aéroport. La modalité de référence retenue pour cette variable est le sexe féminin. Le signe négatif obtenu, traduit le fait que les femmes soient plus consentantes à payer pour obtenir un environnement plus salubre. Le consentement à payer d'une femme pour se prémunir des nuisances sonores de la centrale thermique Ouaga 1 de la SONABEL est plus élevé que celui d'un homme de la même zone de 0,38%. Ce résultat est corroboré par l'étude de Garcia et al. (1992) qui l'explique par le fait que les femmes passent plus de temps au foyer. Dans le cadre de notre étude, le résultat ambivalent s'expliquerait par le fait qu'au niveau de la SONABEL, le bruit est permanent alors qu'il n'est qu'intermittent au niveau de l'aéroport ; les plages horaires de déserte les plus pénibles ayant lieu la nuit, moment où hommes et femmes sont à la maison.

En dehors de ces variables que nous avons introduites, il y a les variables traditionnelles que la littérature a révélées pour l'estimation de la fonction de demande inverse : il s'agit du revenu du consommateur et la variable environnementale (niveau de bruit ici).

Les résultats des estimations font ressortir des coefficients hautement significatifs. Le consentement à payer est positivement corrélé à ces deux variables ; signifiant que les ménages à hauts revenus, situés dans des zones où la pollution sonore est élevée, sont disposés à payer plus pour une amélioration de leur environnement sonore. En effet, toute hausse du niveau sonore de 1% entraîne une augmentation du consentement à payer des riverains respectivement de 14,89% et de 18,65% au niveau de la SONABEL et de l'aéroport. Quant à l'effet du revenu sur le CAP, sa variation de 1% engendre celle du consentement à payer des riverains de l'aéroport de 1,89% et 0,41% pour ceux de la SONABEL.

L'utilisation de la forme fonctionnelle double logarithmique, fournit directement des coefficients qui sont des élasticités associées aux différentes variables quantitatives. Cependant, dans le cas actuel, l'usage de la fonction inverse ne fournit pas directement les valeurs de l'élasticité revenu et partant de la part budgétaire. Pour y remédier, nous recourons à l'inverse du paramètre obtenu par estimation pour la variable revenu. Ainsi, l'élasticité revenu est respectivement de 2,38 et 0,53 pour les deux modèles du tableau 30. Ce qui traduit que le bien environnemental en question (silence) est un luxe pour la population riveraine de la SONABEL, mais un bien nécessaire pour celle de l'aéroport. Ces résultats d'un point de vue théorique sont conformes à la théorie économique du consommateur car les concepts d'élasticités sont subjectifs. En effet, un bien  $X$  peut être normal pour un individu  $i$  et ne pas l'être pour un autre  $j$ . Il est à souligner que de façon empirique, Thiombiano (2003) avait trouvé des résultats similaires pour les riverains de l'aéroport. Autrement dit, si les dépenses pour s'échapper de la pollution sonore ne constituent pas un luxe pour les ménages riverains de l'aéroport, elles le sont pour ceux de la SONABEL. Ce phénomène peut s'expliquer par deux facteurs. Premièrement, les zones jouxtant l'aéroport sont pour la plupart des zones résidentielles (Pâte d'Oie, Cité An 2, 1200 logements) où les personnes qui y vivent ont des revenus élevés et un niveau d'éducation aussi élevé. Compte tenu de leur niveau de compréhension et en vertu de la corrélation positive obtenue dans le modèle, pour eux, dépenser pour se prémunir des nuisances sonores (par des mesures comme vitrer ou plafonner leur maison) est aussi naturel que boire et manger. Alors qu'au niveau de la zone de la SONABEL, nous avons une population hétérogène, avec des individus sans aucun niveau

d'instruction et très souvent à revenu bas. La deuxième raison est que la pollution sonore est permanente au niveau de la SONABEL alors qu'elle n'est qu'intermittente au niveau de l'aéroport. Alors, certains à force d'y habiter, pensent développer un certain mécanisme d'adaptation de telle manière qu'ils en accordent peu d'importance.

L'élasticité prix quant à elle, mesure la sensibilité de la demande d'un bien par rapport à la variation de son prix de 1%. La demande du bien est inélastique au niveau des deux fonctions de demande estimées et y vaut respectivement 0,07 et 0,05. Ces valeurs inférieures à 1 traduisent que la demande du bien varie moins que proportionnellement par rapport à son prix. Une politique de prix n'aura donc pas les effets escomptés.

Une politique visant à procurer un revenu aux populations riveraines de l'aéroport aura un effet plus probant sur leur protection contre les nuisances sonores des avions qu'une politique visant le prix de l'aménité. Cependant, au niveau de la population riveraine de la SONABEL une telle conclusion ne peut pas être tirée au regard des valeurs des élasticités prix et revenu obtenues.

Ces différentes élasticités nous ont donné une mesure de la sensibilité de la demande de l'aménité par rapport à deux paramètres essentiels que sont le revenu du consommateur et le prix implicite de l'aménité. Cependant, elles ne nous renseignent pas sur la variation du bien-être du consommateur consécutive à une modification de la quantité de pollution entre différentes strates. Pour y remédier, nous recourons à l'estimation du surplus du consommateur.

### ***1.2.3. Estimation des bénéfices liés à une amélioration de la qualité de l'environnement sonore***

Conformément au déroulement de la méthode des prix hédonistes, l'estimation de la fonction de demande inverse issue du paragraphe 1.2.2 permet de calculer le différentiel de prix attribué au changement de l'environnement sonore et les bénéfices induits par ce changement par habitation et par jour. Pour ce faire, nous

calculons le surplus du consommateur entre deux situations en appliquant la formule :

$$\int_0^1 CMP_{dnivbruit} = \int_0^1 f_j(Y, C, Nivbruit) ; \text{ nous posons :}$$

$nivbruit = N_i$  = le niveau moyen du bruit de la zone ;

$\bar{Y}$  = le revenu moyen du groupe d'individus ;

$C$  = les caractéristiques démographiques des individus du groupe (âge moyen, sexe, niveau d'instruction)

Pour la zone riveraine de la SONABEL, nous obtenons :

$$\int_0^1 CMP_{dN_i} = \left( \begin{aligned} & -60,920 + 0,417 \text{Log} \bar{Y} + 0,676 \times prim + 1,719 \times sec\ on + 1,664 \times sup \\ & + 0,642 \times statoc - 0,384 \times sexe + 0,024 \times \overline{age} \end{aligned} \right) \times \Delta N_i \\ + 14,695 \left[ (N_i \text{Log} N_i - N_i)_{final} - (N_i \text{Log} N_i - N_i)_{initial} \right] \quad (4.6)$$

Selon l'estimation de la demande inverse, nous obtenons pour la zone riveraine de l'aéroport la variation de surplus suivante :

$$\int_0^1 CMP_{dN_i} = \left( \begin{aligned} & -89,311 + 1,186 \text{Log} \bar{Y} + 0,613 \times prim + 1,210 \times sec\ on + 0,896 \times sup \\ & + 0,461 \times statoc + 0,323 \times sexe + 0,015 \times \overline{age} \end{aligned} \right) \times \Delta N_i \\ + 18,652 \times \left[ (N_i \text{Log} N_i - N_i)_{final} - (N_i \text{Log} N_i - N_i)_{initial} \right] \quad (4.7)$$

où 0 est l'état initial correspondant au niveau sonore sans mesure de réduction et 1 l'état final représentant la situation après la mesure d'internalisation de la pollution. Nous prenons le niveau ambiant maximum des quartiers (55 dB(A))<sup>38</sup> et les seuils fixés par la réglementation respectivement comme état final diurne et état final nocturne. Plus spécifiquement, dans l'hypothèse 1, le niveau de pollution finale diurne est de 65 dB(A) et dans l'hypothèse 2, il est de 55 dB(A). Pour le niveau de pollution finale sonore nocturne, nous considérons un niveau de 35 dB(A).

Ainsi, à partir de ces équations, nous déterminons selon le niveau d'instruction et le statut d'occupation, le bénéfice de chaque groupe. Le tableau 31 donne une idée de ces bénéfices.

<sup>38</sup> Ce niveau est considéré par l'OMS comme un seuil confortable.

**Tableau 31** : Bénéfice journalier de réduction de la pollution par groupe et selon le temps en F CFA

(i) Hypothèse 1 = Passage du niveau de pollution initiale à celui dit acceptable

	SNONABEL				Aéroport			
	Propriétaires		Locataires		Propriétaires		Locataires	
	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne
Aucun	523	1023	532	1041	863	1948	871	1965
Primaire	286	1024	292	1042	871	1910	879	1928
Secondaire	275	995	280	1013	832	1849	840	1866
Supérieur	304	1023	310	1041	846	1872	854	1889
Total	18 200	50 746	2 920	10 331	89 652	199 420	34 326	76 255

(ii) Hypothèse 2 = Passage du niveau de pollution acceptable à celui dit confortable

	SNONABEL				Aéroport			
	Propriétaires		Locataires		Propriétaires		Locataires	
	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne
Aucun	368	597	374	607	514	844	518	851
Primaire	363	590	370	600	512	826	517	833
Secondaire	354	577	361	587	511	816	516	823
Supérieur	353	576	360	585	511	815	516	822
Total	18 080	29 396	3 653	5 931	53 779	86 833	20 663	33 204

**Source** : Estimations / Données d'enquête

Les bénéfices tirés de la réduction du niveau de la pollution varient selon le temps (nocturne et diurne) et selon les catégories d'instruction et de statut d'occupation. Ces bénéfices sont obtenus en prenant le niveau moyen de revenu et d'âge dans chaque strate. Selon le tableau, les locataires profitent mieux de la réduction que les propriétaires. Il en est de même pour le niveau d'instruction. Sur la base de la deuxième hypothèse, nous dirons que le bénéfice tiré de la réduction du niveau de pollution sonore est corrélé négativement au niveau d'instruction. En effet, en considérant le statut « propriétaire », nous observons que le bénéfice tiré de la réduction d'un dB(A) du niveau sonore diurne est respectivement de 368 F pour les sans niveau, 363 F pour les riverains de niveau primaire, jusqu'à 353 F pour ceux du supérieur. Ces scores sont respectivement de 514 F, 512 F et 511 F au niveau de



la population riveraine de l'aéroport. Du reste, cette corrélation négative se vérifie pour tous les sites, les statuts d'occupation et les moments de la journée considérés. Ces résultats sont plausibles avec les consentements à payer. En effet, ceux qui avaient un niveau de consentement à payer élevé bénéficient moins que ceux qui en avaient un niveau moins élevé. Cela est conforme à la théorie du passager clandestin ou de l'action collective qui stipule que dans un groupe, ceux qui participent moins ou pas du tout à la réalisation de l'action, bénéficient plus du fruit de celle-ci, lorsqu'elle est réalisée. Il en est ainsi dans ce cas ci, puisque les responsables des avions ou de la centrale thermique ne choisiront pas uniquement de réduire la pollution de ceux qui ont un consentement à payer élevé. Cela est d'autant confirmé qu'en prenant la première hypothèse, nous retrouvons la théorie néoclassique où le bénéfice est lié au niveau de pollution et à l'effort consenti. D'où une disparité entre les niveaux de bénéfices selon le niveau d'instruction d'une part, et d'autre part, selon le statut d'occupation.

De même, la théorie économique, en particulier celle du capital humain nous enseigne que le niveau de richesse est positivement lié au niveau d'instruction. Sur cette base, nous pouvons assimiler les moins instruits comme les moins nantis. Nos résultats en ce moment sont aussi en conformité avec la théorie du développement durable quand elle stipule que les pauvres sont les plus vulnérables de la dégradation de l'environnement car n'ayant pas les moyens de se soigner ni de se prémunir contre des habitats insalubres (ici pollution sonore).

Le bénéfice total selon le temps est obtenu par la somme pondérée des bénéfices par strate et par stade de réduction.

Nous obtenons donc pour l'ensemble de l'échantillon de la population riveraine de l'aéroport un bénéfice de 145 873 345 F CFA pour passer d'une mauvaise qualité sonore à un niveau acceptable et de 70 984 835 F CFA pour passer d'une situation de pollution acceptable à un niveau confortable quel que soit le temps. Ces montants sont respectivement de 29 590 920 F CFA et de 20 541 600 F CFA au niveau de la zone riveraine SONABEL.

Economiquement parlant, une politique de réduction de la pollution sonore des avions et de la centrale thermique, toutes choses égales par ailleurs engendrera pour 145 ménages riverains de l'aéroport et 60 ménages côtoyant la centrale Ouaga 1 annuellement un bénéfice implicite total respectif de 216,858 millions et 50,132 millions de francs.

Malheureusement, l'analyse des taxes prélevées aussi bien au niveau de l'exploitation aéroportuaire que celle de la centrale thermique ne révèle aucun mécanisme permettant une comparaison quelconque

En somme, contrairement à ce que l'on pourrait croire, la dépréciation des valeurs immobilières due à la pollution sonore des avions et de la centrale thermique n'est pas marginale pour les riverains de ces deux sources polluantes. Car elle se situe dans le même ordre de grandeur (0,27% et 0,56%<sup>39</sup>) que ceux trouvés dans des études similaires. En terme monétaire, la dépréciation par décibel supplémentaire représente en terme monétaire 43% du seuil de pauvreté. Globalement le coût social de la pollution sonore pour notre échantillon d'étude représente 133,33% de leur part dans le PIB 2007<sup>40</sup>. Ce résultat infirme l'hypothèse selon laquelle le bruit a un coût social marginal pour les riverains.

Ces différentes valeurs pouvaient être assimilées au coût social. Mais, comme signalé dans la partie théorique, il faut tenir compte de la morbidité et des coûts directs de soin.

## II. Facteurs déterminants de la surdité auditive

Au chapitre précedent, le test d'audiométrie effectué sur les riverains a révélé une corrélation entre leur situation auditive et le niveau de la pollution. Dans la présente section, nous nous proposons par le modèle de Poisson, d'analyser les facteurs

---

<sup>39</sup> Respectivement pour les riverains de l'aéroport et de la SONABEL.

<sup>40</sup> Selon l'INSD en 2007, le PIB / habitant était de 238 959 F CFA. Le coût social pour notre échantillon de 838 individus est :  $216\,848\,000 + 50\,132\,000 = 266\,980\,000$ . Ce qui donne le taux :  $266\,848\,000 \times 100 / 238\,959 \times 838 = 133,33\%$

déterminants le problème d'audition ainsi que leur ampleur sur la probabilité conditionnelle qu'un tel événement survienne.

A la lumière du cadre conceptuel, l'estimation du modèle de Poisson donne les résultats contenus dans le tableau 32 :

**Tableau 32** : Résultats d'estimation du modèle de Poisson et de celui du NegBin

Variable	Modèle de Poisson		Modèle Binomial Négatif (NegBin)	
	Coefficient	Prob.	Coefficient	Prob.
NIVBRUIT	0,703042***	0.0008	0,703042***	0,0008
DUREESITE	0,014898	0.5969	0,014898	0,5969
AGEENQ	0,142088***	0.0049	0,142088***	0,0049
HIST	0,589627	0.3356	0,589627	0,3356
PRO1	3,469565*	0.0521	3,469565*	0,0521
PRO2	3,616540***	0.0100	3,616540***	0,0100
PRO3	4,547587**	0.0259	4,547587**	0,0259
PRO4	2,567137*	0.0521	2,567137*	0,0521
PRO5	0,241797	0.8482	0,241797	0,8482
PRO6	2,519155*	0.0688	2,519155	0,0688
PRO7	6,013365***	0.0092	6,013365***	0,0092
SEXE	-0,022588	0.9783	-0,022588	0,9783
SITE	-2,270166**	0.0112	-2,270166**	0,0112
C	-65,85147***	0.0009	-65,85147***	0,0009
Mixture parameter ( $\alpha$ )			17,04828	0,9905
R-squared	0,603618		0,603618	
Adjusted R-squared	0,425930		0,405428	
Log likelihood	-28,83660		-28,83660	
Restr. log likelihood	-45,48958		-45,48958	
LR statistic (13 df)	33,30596		33,30596	
Probability(LR stat)	0,001533		0,405428	
Avg. log likelihood	-0,670619		-0,670619	
LR index (Pseudo-R <sup>2</sup> )	0,366083		0,366083	

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Estimation / Données enquête

Les variables retenues pour expliquer la probabilité associée au nombre d'oreilles affectées par la surdité sont statistiquement et globalement différents de zéro au regard de la probabilité associée à la statistique du LR. Le pseudo  $R^2$  est aussi acceptable. Il est de 0,37 dans le cadre de notre estimation.

Nous constatons que la quasi-totalité des variables explicatives sont statistiquement significatives tout au plus au seuil de 10% et ont les signes attendus. Pour vérifier le réalisme de la spécification du modèle de Poisson, nous avons estimé un modèle binomial négatif (NegBin) sur les mêmes observations, avec les mêmes variables explicatives. La procédure NegBin estime un paramètre supplémentaire  $\alpha$  tel

que :  $V(y_i) = E(y_i)[1 + \alpha E(y_i)]$ . L'estimation du NegBin permet alors de tester la contrainte d'égalité entre l'espérance et la variance de la variable endogène en ce qui concerne nos données par le test de la significativité du paramètre  $\alpha$ .

Ce dernier n'est pas significatif car la probabilité qui lui est associée (0,99) est supérieure au seuil de tolérance le plus élevé, généralement admis (10%). Ce résultat se confirme par le test du *LR*. La statistique du rapport de vraisemblance se calcule:  $LR = 2(\log(\hat{\theta}) - \log(\theta^*))$ . Elle suit une loi de Khi-Deux et vaut  $2 \times (-28,837 + 28,837) = 0$ . Au seuil de tolérance de 1%, la valeur théorique de Khi-Deux est de 6,635. Par conséquent, la contrainte correspondant à la spécification de Poisson est donc acceptée. De plus, l'on peut remarquer que les paramètres estimés ne sont pas très différents de ceux obtenus avec le modèle de Poisson. Ces résultats sont convergents avec ceux de Ambapour (2003). Il est à noter qu'une des spécifications couramment utilisées comme test de validité du modèle de Poisson est la forme exponentielle. Cependant, la nature à évidence discrète de la variable endogène (ses modalités étant : 0, 1, et 2) rend l'utilisation non envisageable.

La spécification de Poisson étant acceptée, les résultats de l'estimation permettent de faire les commentaires suivants :

#### **(i) Les facteurs contextuels**

Le niveau de bruit (**Nivbruit**) avec une probabilité de significativité de 0,0008, est un facteur augmentant le risque de surdité avec un seuil de tolérance de 1%. Tout accroissement du niveau du bruit de 1% au dessus de la moyenne accroît l'espérance mathématique conditionnelle du risque de surdité de 70%. Théoriquement, les premiers signes de la surdité liée au bruit se manifestent dans les hautes fréquences, principalement autour de 4 kHz. La configuration audiométrique habituelle est de type encoche centrée autour de 4 kHz, après soustraction de l'effet d'âge. Les résultats d'estimation sont donc convergents d'une part, avec la théorie et les résultats d'audiométrie et d'autre part, avec les résultats de tests de Khi-Deux. En effet, 60% des riverains examinés et souffrant

d'une surdité, présentent une déperdition auditive à partir de la fréquence de son de 4 kHz.

Aussi, les études lient souvent l'effet du bruit sur l'audition aux conditions d'exposition à celui-ci. Nous avons testé cet aspect par l'introduction de la variable indicatrice site qui est statistiquement significative à 5% car la probabilité qui lui est associée (0,011) est inférieure à 5%. La modalité de fréquence étant la SONABEL, le signe négatif traduirait tout simplement que le passage d'un milieu à exposition permanente au bruit à un milieu de pollution temporaire, diminue le risque de surdité. Autrement dit, une longue exposition à un niveau de bruit élevé peut engendrer des problèmes auditifs.

## (ii) Les facteurs individuels

A ce niveau, nous nous sommes intéressés à l'âge, à l'historique auditif et au type de profession exercée avec pour modalité de référence la profession « ménagère ». L'âge est positivement lié à l'espérance mathématique du problème auditif. Ainsi, plus on prend de l'âge, plus on augmente la probabilité de développer une surdité. Un accroissement de l'âge de 1% augmente la probabilité conditionnelle de survenue de la surdité de 14%. Ceci étant liée au vieillissement qui provoque la disparition progressive des cellules ciliées qui tapissent l'oreille interne. Ce phénomène qualifié de presbyacousie est inéluctable. Dans ce cas, la configuration audiométrique ne se caractérise plus par une encoche centrée autour de 4 kHz, car l'effet d'âge s'ajoute éventuellement à l'effet bruit et affecte davantage les hautes fréquences supérieures à 4 kHz. En se référant aux résultats audiométriques et de tests de Khi-Deux, nous dirons que ces résultats sont concordants. Ils sont aussi analogues à ceux trouvés au Ghana par Boateng et Amedofu (2004).

Il en est de même pour les types de profession. La modalité de référence étant « ménage », le signe positif trouvé pour les autres modalités traduit le fait que ceux qui sont sous les zones polluées, les professions autres que celle de ménagère, accroissent la probabilité de risque de surdité. Ce résultat a priori paradoxal, ne l'est pas car selon les résultats des statistiques descriptives, la majeure partie des enquêtés travaillent en moyenne à 2,6 kilomètres de chez eux, soit toujours sous la

zone d'influence des deux sources de pollution. Cet état de fait couplé d'une part, à leur pouvoir d'achat qui leur permet de fréquenter d'autres endroits pollués tels que les discothèques, et d'autre part, la soumission à d'autres bruits liés au lieu et/ou au type de travail justifient ce résultat.

En somme, les examens audiométriques ont relevé la présence de problème de surdité lié à la pollution sonore au sein de l'échantillon d'étude. Le modèle de Poisson a permis de mettre en exergue les différentes variables explicatives de cet état de fait. Il en ressort effectivement que l'intensité de bruit est l'un des facteurs déterminants du problème de surdité que connaissent les riverains de la SONABEL et de l'aéroport. Mais est-ce que le niveau de gêne ressentie par ces riverains s'explique par les conditions d'exposition à savoir l'intensité de bruit et la durée d'exposition ? Autrement dit, ces dernières variables (intensité du bruit et durée d'exposition) ne sont-elles pas des déterminants marginaux du niveau de gêne révélée par les populations des zones polluantes ?

### **III. Variables explicatives de la gêne**

Les résultats du modèle probit multinomial ordonné permettent de dégager les variables explicatives les plus pertinentes et leurs contributions dans l'explication de la gêne exprimée par les riverains de la SONABEL et de l'aéroport.

#### **III.1. Estimation du modèle probit multinomial**

Afin de dégager les variables pertinentes explicatives de la gêne due au bruit des avions et de la centrale thermique, le modèle a incorporé les différentes variables relatives au passé et au devenir, la durée et les conditions d'exposition, les caractéristiques individuelles, les effets sur la santé et les comportements quotidiens et l'information et la communication.

Le tableau 33 présente les résultats de l'estimation des deux modèles.

**Tableau 33** : Estimation du modèle probit multinomial ordonné pour les 2 sites

Variable	Aéroport		SONABEL	
	Coefficient	Prob.	Coefficients	Prob.
PRAUDITION	-0,101097	0,7467	0,668923*	0,092
MALDOR	0,517458**	0,0151	0,439293	0,271
INCISANTE	0,583048***	0,0047	0,588826	0,148
BRUIT1	0,227523***	0,0000	0,338279***	0,000
AGE	0,004793	0,4877	0,011975	0,302
CRAINTE	0,815388***	0,0000	-0,135152	0,713
DUREESITE	-0,024289**	0,0112	-0,016120	0,126
ECORADIO	-0,219509	0,2303	-0,440749	0,237
FENETRE	0,165677*	0,0790	0,617709*	0,031
ANTEB	-0,062799	0,7382	0,240862	0,430
SEXE	-0,024098	0,8993	-0,323953	0,285
Points Limites				
Seuil 1	16,07696	0,0000	21,39563	0,0000
Seuil 2	16,92998	0,0000	22,45120	0,0000
Seuil 3	18,18542	0,0000	23,15394	0,0000
Seuil 4	18,72893	0,0000	24,33696	0,0000
Seuil 5	19,49375	0,0000	24,65735	0,0000
Seuil 6	19,97193	0,0000	26,07723	0,0000
Seuil 7	20,67251	0,0000	27,19452	0,0000
Seuil 8	21,17838	0,0000	27,77497	0,0000
Seuil 9	21,84984	0,0000	28,04727	0,0000
Seuil 10	-	-	28,04727	0,0000
Log likelihood	-261,4262		-88,544469	
Restr. log likelihood	-300,0602		-138,789469	
LR index (Pseudo- R2)	0,128754		0,3170	
LR statistic (11 df)	77,26803		100,49	
Probabilité (LR stat)	0,000000		0,000000	

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

Les coefficients de certaines variables comme l'âge et le sexe de l'enquêté, ainsi que l'écoute de la radio (**ECORADIO**), l'anticipation du niveau de l'intensité du bruit entre autres, sont alors non significativement différents de zéro. Ce résultat est conforme à ceux issus du test de Khi-Deux. On retire donc ces variables et les résultats obtenus pour le probit ordonné sont alors les suivants :

**Tableau 34** : Estimation du modèle final probit multinomial ordonné pour les 2 sites

Variable	Aéroport		SONABEL	
	Coefficient	Prob.	Coefficients	Prob.
PRAUDITION	-	-	0,8505017**	0,013
MALDOR	0,517458**	0,0151	-	-
INCISANTE	0,6096934***	0,002	-	-
BRUIT1	0,2340216***	0,000	0,331147***	0,000
CRAINTE	0,8219823***	0,000	-	-
DUREESITE	-0,0204486**	0,013	-	-
FENETRE	-	-	0,5794042*	0,045
Points Limites				
Seuil 1	16,54645	0,0000	20,95194	0,0000
Seuil 2	17,38837	0,0000	21,80780	0,0000
Seuil 3	18,62649	0,0000	22,42848	0,0000
Seuil 4	19,15536	0,0000	23,51492	0,0000
Seuil 5	19,89911	0,0000	23,80907	0,0000
Seuil 6	20,36781	0,0000	25,23548	0,0000
Seuil 7	21,05659	0,0000	26,34974	0,0000
Seuil 8	21,56106	0,0000	26,93904	0,0000
Seuil 9	22,23204	0,0000	27,20730	0,0000
Seuil 10	-	-	27,99892	0,0000
Log likelihood	-263,9641		-91,66855	
LR index (Pseudo-R <sup>2</sup> )	0,128754		0,2929	
Wald Chi 2	59,35		54,15	
Probabilité (Chi 2t)	0,0000		0,0000	

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

### III.1.1. Pertinence du modèle

Nous remarquons tout d'abord que le processus d'optimisation de la vraisemblance a convergé pour les deux modèles. La pertinence du modèle probit multinomial ordonné est déterminée par les statistiques du maximum de vraisemblance et du pseudo  $R^2$ . La statistique du maximum de vraisemblance ( $LR$ ) qui s'apparente à la statistique  $F$  de Fisher dans la méthode des moindres carrés ordinaires est ici statistiquement significative. Ce qui traduit que les différentes variables retenues pour l'explication du niveau de gêne ressentie par les populations riveraines de l'aéroport de Ouagadougou, sont globalement significatives au seuil de 1% car la probabilité associée au  $LR$  ( $p_{LR} = 0,000000$ ) est inférieure à 0,01.

Ce commentaire prévaut aussi pour le modèle du sous échantillon de la SONABEL. Ainsi, la probabilité  $p_{Chi2t} = 0,000$  trouvée au niveau de l'estimation, traduit le fait que le problème d'audition (**Praudition**), l'intensité du bruit (**Nivbruit**) et l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres sont globalement significatifs



pour expliquer le niveau de gêne révélée par la population riveraine de la centrale thermique Ouaga 1.

Pour le pouvoir prédictif du modèle, nous pouvons appliquer les indicateurs de performance mis en œuvre pour les modèles binomiaux. Le pseudo  $R^2$  est ici égal respectivement à 0,13 et 0,29 (tableau 33) pour le sous échantillon de l'aéroport et pour celui de la SONABEL. Ces différents résultats sont convergents avec la plupart de ceux trouvés pour des modèles similaires. Hank et al. (2003) trouvent par exemple dans leur étude un pseudo  $R^2$  de 0,08. Quant à la table de prédictions, on peut considérer que la valeur de  $y_i$  prédite par le modèle est celle qui correspond à la probabilité la plus forte. La table de prédiction ci-dessous nous fournit un taux global de bonnes prédictions de 65%.

**Tableau 35** : Table de prédiction du modèle probit ordonné pour la zone de l'Aéroport

Modalité	Effectif observé	Effectif théorique associé la probabilité max	Erreur	Effectif associé à la somme des probabilités	Erreur
0	2	1	1	1.766	0.234
2	4	1	3	3.643	0.357
3	17	14	3	17.441	-0.441
4	16	0	16	16.389	-0.389
5	31	81	-50	31.990	-0.990
6	22	0	22	21.518	0.482
7	27	45	-18	26.323	0.677
8	13	0	13	12.522	0.478
9	9	1	8	8.952	0.048
10	4	2	2	4.455	-0.455

**Source** : Estimation / Eviews

Nous disposons des estimateurs des paramètres  $\beta/\sigma_\varepsilon$  pour toutes les variables explicatives, mais qui ne sont pas directement interprétables. Il est à noter l'absence de la constante dans le vecteur des variables explicatives pour des questions d'identification. En effet, on ne peut identifier à la fois le paramètre associé à la constante et les seuils  $S_i$ . Enfin, nous constatons dans ces modèles que les différents seuils sont significatifs. Mais les coefficients ne sont pas directement interprétables. Il faut recourir aux effets marginaux pour déterminer l'impact de chaque variable sur la probabilité de réalisation d'une modalité particulière.

### III.1.2. Effets marginaux<sup>41</sup>

Les effets marginaux des facteurs explicatifs du niveau de gêne révélée par les riverains des sources polluantes sont présentés dans le tableau 36. Compte tenu de la nature du modèle utilisé, pour une même variable exogène, le signe de ces effets marginaux varie selon le niveau de gêne ressentie.

**Tableau 36** : Effets marginaux des variables du modèle probit ordonné

$y_i$	$P(Y = y_i)$	SONABEL			$P(Y = y_i)$	Aéroport				
		bruit	praud	fenêt		crainte	bruit	insanté	maldor	duréesite
0	0,0001	-0,001	-0,0001	-0,0003	0,004	-0,002	-0,0003	-0,002	-0,001	0
1	0,0017	-0,002	-0,003	-0,004	-	-	-	-	-	-
2	0,0092	-0,01	-0,013	-0,167	0,006	-0,02*	-0,004**	-0,015	-0,007	0,0003
3	0,1031	-0,05***	-0,102**	-0,103*	0,098	-0,15***	-0,04***	-0,12***	-0,07**	0,003**
4	0,0671	-0,023*	-0,053	-0,04	0,129	-0,09***	-0,03***	-0,07**	-0,06**	0,003**
5	0,5157	-0,028	-0,145	-0,027	0,271	-0,05**	-0,02***	-0,03*	-0,06*	0,002*
6	0,2515	0,08***	0,184**	0,134*	0,180	0,05**	0,01**	0,04**	0,01	-0,001*
7	0,0383	0,02**	0,082	0,037	0,193	0,12****	0,04***	0,09***	0,07***	-0,003**
8	0,0068	0,005	0,022	0,08	0,074	0,08***	0,02***	0,05***	0,06***	-0,002**
9	0,0059	0,005	0,027	0,008	0,037	0,05***	0,02***	0,04***	0,05**	-0,001**
10	0,0052	0,001	0,004	0,001	0,009	0,02*	0,01*	0,01	0,02*	-0,005

\*Significatif au seuil de 10%, \*\* Significatif au seuil de 5%, \*\*\* Significatif au seuil de 1%

**Source** : Estimation / Stata 8

Les résultats de l'estimation suscitent les commentaires.

### III .2. Interprétation des résultats

Théoriquement, il est reconnu une surdité normale due à la vieillesse appelée presbyacousie. Les résultats révèlent que le problème auditif spécifique à la pollution acoustique n'est pas lié qu'à l'âge seulement; mais à l'intensité du bruit et à la durée d'exposition. Ce qui se traduit par le fait que le bruit peut être une cause ou un facteur aggravant du problème de la surdité. Les résultats économétriques sont alors conformes d'une part, aux résultats statistiques (faible dépendance entre les deux variables) et d'autre part, à ceux du test audiométrique qui fait aussi

<sup>41</sup> Confère l'annexe pour le calcul détaillé de ces effets

ressortir une indépendance entre le problème de surdité et l'âge du sujet. En somme, le niveau de gêne ressentie est subjectif, indépendamment de l'âge de la personne qui subit les nuisances sonores.

Globalement, le niveau de la gêne ressentie par les populations riveraines de la SONABEL s'explique par l'intensité du bruit, le problème d'audition et l'empêchement d'ouvrir les fenêtres. La probabilité la plus élevée (0,27) est liée au niveau de gêne 5.

Le niveau de bruit, la durée sur le site, et les facteurs liés à l'avenir comme la crainte d'une évolution du trafic aérien d'une part, et d'autre part, ceux liés aux comportements des individus telle que la perturbation du sommeil, ainsi que les facteurs de santé, se dégagent de façon générale comme les variables déterminantes du niveau de gêne révélée par les habitants riverains de l'aéroport. Au sein de cet échantillon, les probabilités de prédiction sont associées aux niveaux de gêne compris entre 4 et 7. Cependant, une analyse des effets marginaux permet de voir que ces différentes variables ont une influence différenciée selon le niveau de gêne. Nous pouvons alors donner les précisions suivantes :

#### **(i) Les facteurs liés au bruit**

L'intensité de bruit est le seul facteur de bruit qui détermine le niveau de gêne ressentie par les populations riveraines des deux sources de pollution. Son incidence est plus évidente au niveau de la population riveraine de l'aéroport que celle de la SONABEL. En effet, à tous les niveaux de gêne révélée, l'effet marginal de ladite variable est significatif sous la zone d'influence des avions, alors que cette significativité ne s'observe que pour les niveaux de gêne 2, 6 et 7 dans l'autre sous échantillon. Les signes des effets marginaux sont conformes à la théorie économique. Ainsi, l'accroissement de l'intensité du bruit augmente la probabilité de survenue des niveaux de gêne élevés alors qu'en même temps il baisse celle des niveaux de gêne faibles. Des résultats similaires ont été établis entre le niveau de gêne déclarée et celui du bruit. En effet, Faburel et Maleyre (2002) confirmaient la relation entre le niveau de bruit et la gêne relevée par les riverains de Roissy et

Orly à l'aide du test de Perron et par régression. Ils trouvaient ainsi un coefficient de régression de 0,26. Auparavant, Vallet et al. (2000) parvenaient à un coefficient semblable lors de l'enquête de gêne réalisée pour le compte de la Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Mission Bruit à proximité des aéroports de Roissy et Orly. En somme, indépendamment du contexte territorial observé ici, ce résultat est conforme à ce que la psychologie comportementale donne à voir mais que les pouvoirs publics ne prennent pas encore en compte sous nos cieux.

L'autre variable pertinente reliée au bruit, testée dans nos estimations est les conditions d'exposition et plus précisément la durée d'exposition. Cette variable est uniquement significative au niveau de l'aéroport. Les effets marginaux montrent une corrélation négative entre cette variable exogène et la variable endogène. Ainsi, plus on passe de temps dans la zone de turbulence, plus on exprime un niveau de gêne moins élevé comme si on développait un système d'adaptation. Ceci pourrait expliquer aussi la non significativité de cette variable au niveau de la zone de la SONABEL. En effet, si dans une zone où la pollution est intermittente, la durée d'exposition crée une certaine habitude, alors cela sera d'autant vrai pour une zone à pollution permanente. Mais ceci, c'est ignorer le caractère sournois du problème du bruit sur la santé. En effet, la surdité se développe de façon insidieuse. Cette ignorance est favorisée par la non fréquentation de nos populations des centres de consultations.

Ces résultats corroborent ceux trouvés par d'autres auteurs (Fidell et Coll, 1995). C'est la raison pour laquelle des paramètres comme l'occurrence du bruit (lieu, heure et saison) sont pris en compte dans les études de gêne due au bruit. Aussi, il faut intégrer les facteurs individuels.

## **(ii) Les facteurs individuels**

Parmi les facteurs individuels intégrés dans la régression, la crainte d'un futur environnement sonore plus bruyant accroît la probabilité des individus à révéler des niveaux de gêne élevés et diminue la probabilité de révélation de niveaux de gêne faibles. Les effets marginaux rattachés à cette variable exogène sont quasi significatifs pour les différents niveaux de gêne. Ainsi, pour un individu ayant un

niveau de gêne de 6 et qui craint pour son environnement sonore futur verra sa probabilité de niveau de gêne augmenter de 0,05 par rapport à son homologue qui ne présente pas la même crainte. Cette variable explicative est seulement significative au niveau de la zone de l'aéroport. Ceci s'explique par le fait que le trafic aérien peut s'accroître avec son corollaire de hausse du niveau sonore alors qu'au niveau de la SONABEL, la puissance des moteurs est constante et par conséquent la pollution émise est presque invariable.

Le fait que le bruit empêche les riverains de l'aéroport de s'endormir, explique les niveaux de gêne ressentie par ceux-ci. Ceci est conforme aux résultats des statistiques descriptives qui font ressortir que parmi les effets du bruit, l'empêchement d'endormissement représente 52%. Ainsi, il est plus probable qu'un individu qui dort mal ait un niveau de gêne plus élevé qu'un autre dont le sommeil n'est pas perturbé. D'où le signe positif des effets marginaux pour les niveaux élevés de gêne et un signe négatif pour des niveaux bas. En terme de politique économique, il faut réguler les vols de nuit afin de réduire cette gêne.

### **(iii) Les facteurs liés aux comportements quotidiens**

Les statistiques descriptives à travers les tests de corrélation de Pearson ont confirmé la théorie qui stipule que le niveau de bruit empêchait les individus d'ouvrir leurs fenêtres. Cet état de fait explique le niveau de gêne exprimée par les populations riveraines de la centrale thermique Ouaga 1, mais pas pour celles de l'aéroport. Ce résultat ambivalent s'explique aussi par le fait que le bruit est permanent au niveau de la centrale tandis qu'il est intermittent au niveau de l'aéroport. Garder les fenêtres fermées est une stratégie d'atténuation de la pollution pour le premier groupe des riverains. Dans le même ordre d'idée, ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les riverains de l'aéroport ignorent les plages horaires de déserte. Par conséquent, ils ne gardent pas leurs fenêtres fermées pour cause de bruit comme le font leurs homologues de Paris Roissy ou ceux de la centrale thermique. En somme, nous dirons que cet aspect dépend de la fréquence du bruit et de la connaissance des horaires de décollage et d'atterrissage des avions. Une des variables d'influence du niveau de gêne détectée par le modèle, est l'incidence du bruit sur la santé ou le problème d'audition. Ainsi, une personne

souffrant d'un problème d'audition ou sachant que le bruit a une incidence négative sur la santé affichera une gêne plus élevée qu'une autre ayant des oreilles saines ou n'ayant aucune impression que le bruit affecte négativement la santé humaine. Ce résultat est conforme à celui du modèle 1 sur l'effet de l'instruction sur le niveau du consentement à payer. En effet, les plus instruits, sachant bien les effets néfastes du bruit, sont plus consentants à payer que les autres.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié économétriquement le phénomène des nuisances sonores des avions et de la centrale thermique Ouaga 1, à travers trois modèles que sont le modèle des prix hédonistes, celui de Poisson et le modèle probit multinomial ordonné. Globalement, les résultats des estimations économétriques sont acceptables et mettent en évidence une bonne adéquation des modèles. Les modèles retenus ont été bien spécifiés. Les variables incluses dans ces modèles contribuent conjointement à expliquer les variables dépendantes quel que soit le site d'enquête. Il ressort que les populations riveraines de l'aéroport et de la SONABEL sont prêtes à payer pour bénéficier d'un environnement plus calme. Aussi, l'intensité de bruit subi, l'âge et le site d'habitation sont susceptibles d'influer sur le risque d'apparition d'une surdité. Le dernier modèle développé révèle que les caractéristiques individuelles, les aspects environnementaux (bruit) et la perturbation des activités quotidiennes expliquent le niveau de gêne ressentie par les populations riveraines des deux sites. Ces résultats viennent corroborer ceux trouvés au chapitre d'analyse descriptive et confirment les différentes hypothèses du présent travail.

---

## **Conclusion générale**

---

L'un des buts de cette thèse était d'estimer la valeur que les ménages riverains de l'aéroport et de la centrale thermique de la SONABEL attribuent à leur environnement sonore, valeur mesurée dans notre étude d'une part, à travers leur consentement à payer pour être moins pollués ; et d'autre part, via le coût en terme de morbidité. Nous avons pu obtenir de telles valeurs grâce à la méthode des prix hédonistes et par la méthode du capital humain. Ces deux méthodes ont mobilisé des données primaires recueillies auprès d'un échantillon de 200 ménages obtenu par stratification selon la taille des zones. Ces données ont couvert les caractéristiques sociodémographiques des ménages, les caractéristiques de proximité et celles liées à l'environnement. Nos travaux ont permis tout d'abord de montrer que l'intensité du bruit, et les autres caractéristiques de proximité et intrinsèques, ont une influence significative sur le prix des maisons, mais de manière distincte selon le marché considéré. Nous avons donc pu montrer une segmentation manifeste du marché entre les maisons selon les deux sites d'enquête, avec, pour chacun des marchés, une fonction de prix hédoniste différente concernant notamment les attributs associés au bruit. Nous avons également estimé la fonction de demande inverse concernant la qualité sonore sachant que cette deuxième phase est d'habitude relativement peu abordée dans la littérature française, faute de données suffisantes sur les caractéristiques des ménages. Nos résultats indiquent que le consentement à payer moyen pour une réduction de la pollution sonore donnée, varie en fonction du niveau de revenu, et du niveau d'instruction, le niveau sans instruction étant pris comme modalité de référence. Le coût marginal social par dB(A) varie en moyenne entre 14 000 F et 35 000F. Ces différentes statistiques sont considérables par rapport au seuil de pauvreté qui s'établissait à 82 672 F en 2003. Ainsi, les riverains des sources polluantes sont prêts à payer entre 17% et 42% du montant du seuil de pauvreté. Ces résultats viennent alors corroborer notre hypothèse selon laquelle les riverains sont prêts à payer fortement pour bénéficier d'un environnement sain. Aussi, contrairement à ce que l'on pourrait croire, la dépréciation des valeurs immobilières due à la pollution sonore des avions et des centrales thermiques n'est pas marginale. Car elle se situe

dans le même ordre de grandeur (0,27% et 0,56%<sup>42</sup>) que ceux trouvés dans des recherches similaires en Amérique, Europe et Asie et représente en terme monétaire 43% du seuil de pauvreté. Ce résultat infirme l'hypothèse selon laquelle le bruit a un coût social marginal pour les riverains.

Le deuxième objectif qui était de montrer l'incidence du bruit sur l'audition a aussi été atteint. A travers un test audiométrique et sur la base d'un échantillon aléatoire de 50 individus, nous avons déterminé d'une part, avec le concours des spécialistes de l'ORL le taux de surdité au sein de notre population enquêtée ; et d'autre part, établi les coûts directs de prise en charge (soin). La recherche a ainsi permis à certains riverains de connaître leur situation auditive jusque là ignorée. Les personnes souffrant de scotome ont été référées à une structure sanitaire pour leur prise en charge : celles ayant une hypoacousie ont bénéficié de conseils diététiques, soit pour correction de leur surdité, soit pour en empêcher la progression. Ces deux résultats permettent ainsi de confirmer l'hypothèse selon laquelle le bruit a un coût social d'une part, et d'autre part, la première hypothèse qui stipule la disponibilité des populations riveraines à payer pour un environnement sonore plus sain.

Notre étude, tout en aboutissant à des résultats similaires à ceux trouvés sous d'autres cieux, s'en démarque avec certaines particularités. Tout d'abord, le cadre de l'étude : à l'exception de Thiombiano (2003), qui avait étudié l'impact du bruit des avions sur les populations riveraines de l'aéroport, aucune étude de cette nature n'a été faite sur les populations riveraines des deux sources de pollution. La prise en compte simultanée de trois aspects que sont les prix hédonistes, l'incidence sur la santé et les facteurs déterminants de la gêne et de la surdité, constitue un aspect singulier de la présente recherche.

Par ailleurs, au plan méthodologique, comme le soulignait Day et al. 2006, cité par Nelson 2007, la plupart des études hédonistes se sont limitées à la première étape. La présente recherche fait donc partie des rares études qui sont allées jusqu'à l'estimation des demandes inverses. Sa particularité avec les autres est qu'elle a permis de tester l'effet des facteurs comme le niveau d'instruction sur le CAP. Au

---

<sup>42</sup> Respectivement pour les riverains de l'aéroport et de la SONABEL.



niveau de l'incidence sur la santé, la recherche a dépassé le cadre des analyses de corrélations simples, couramment utilisées dans les études analogues pour construire un modèle de Poisson qui a abouti à des résultats probants. Aussi, la méthode de relation dose-réponse utilisée pour déterminer le niveau de gêne et l'analyse multivariée qui suit, ne permettent pas de déterminer les effets marginaux des différents facteurs explicatifs. Ainsi, la présente thèse a construit un modèle probit multinomial ordonné pour juguler ce vide. Ce modèle a convergé et les facteurs liés au bruit (intensité, la durée d'exposition) ont été révélés déterminants dans l'explication du niveau de gêne ressentie par les populations enquêtées. Il est à noter cependant que leurs effets, notamment ceux de la durée d'exposition, apparaissent plus nettement au niveau de la population riveraine de l'aéroport. La dissymétrie entre les deux zones d'enquête se manifeste aussi au niveau des facteurs liés au comportement quotidien. Si le fait de ne pas pouvoir ouvrir les fenêtres pour cause de bruit explique le niveau de gêne exprimée par les habitants de la zone jouxtant la source à pollution continue (SONABEL), force est de constater que ceci ne prévaut pas au niveau de la source à pollution discontinue (aéroport). L'hypothèse selon laquelle l'intensité du bruit et la durée d'exposition sont des déterminants marginaux du niveau de gêne que subissent les riverains, se trouve être infirmée.

La méthode des prix hédonistes est très délicate avec les différents problèmes économétriques sous-jacents. Son utilisation requiert une très grande précaution. Le recours à la démarche socioéconométrique dans la présente recherche a permis d'y remédier, en détectant dans la partie analyse descriptive et discriminante une présomption de multicollinéarité. Ce qui a conduit à l'élimination d'un certain nombre de variables dans les différents modèles. Aussi, la description du milieu d'étude, nous a permis d'expliquer certains résultats ambivalents entre les deux sous échantillons. La séparation de deux sous échantillons sur la base de la nature de la pollution a permis de déceler de tels effets. Un échantillon unique ne l'aurait pas permis.

Enfin, le modèle de Poisson admis dans l'estimation des données de "comptage" a permis de tester la validité de certaines hypothèses émises par les scientifiques dans le domaine médical qui ne les vérifiaient que par des tests de corrélation. Un tel

modèle plus robuste que les tests de corrélation simple, a révélé que l'âge, l'intensité du bruit, sa nature et la pratique de certaines professions accroissent la probabilité conditionnelle d'un agent économique de développer une surdité auditive. Ce qui confirme notre hypothèse selon laquelle le bruit des avions et de la centrale thermique, en plus des nuisances sonores, agit sur la santé en général et l'ouïe en particulier de la population. Ce modèle a porté sur les données issues de l'audiométrie. Le problème de la pollution sonore est un donc un problème de santé publique.

Tous ces résultats appellent une formulation de certaines mesures de politique économique. Ainsi, pour réduire l'incidence de la pollution sonore sur l'homme et son habitat, une réglementation de l'exploitation de la plateforme aéroportuaire s'impose. Pour ce faire, l'instauration d'un couvre feu entre 23 heures et 6 heures, comme c'est le cas dans certains aéroports dans le monde, permet de réaliser un bénéfice certain à court terme. La portée d'une telle politique est limitée par le fait que toute la programmation de la déserte est externe a pays. Elle aura les effets escomptés que si elle est appuyée par une action collective de la part des riverains. Une autre solution envisageable à court terme, serait le respect scrupuleux de la réglementation de l'OACI. Au niveau individuel, chaque riverain peut recourir aux dépenses défensives comme solution au problème de la pollution sonore. Cette dernière solution sera efficace si elle est accompagnée par une politique étatique de mise en place des activités génératrices de revenus.

A long terme, une solution définitive sera d'une part, le recours à l'hydroélectricité pour le cas de la SONABEL ; et d'autre part, le déplacement de l'aéroport accompagné d'un bon plan d'aménagement urbain pour le nouveau site d'accueil dans le second cas.

L'arrêt ou la délocalisation des centrales thermiques est faisable par le recours à des énergies propres comme l'hydroélectricité. La politique régionale d'interconnexion électrique en cours au sein de la CEDEAO, constitue sans aucun doute un des moyens les plus sûrs de réduire les nuisances des centrales thermiques.

Selon les normes de l'OACI, la construction d'un aéroport doit s'insérer dans un bon plan d'aménagement urbain. Une délimitation très claire des zones habitables, des zones industrielles permet de réduire les effets de la pollution sonore sur les populations riveraines. Il est donc souhaitable dans le cadre de la construction du nouvel aéroport, de prévoir dans les plans d'aménagements futurs la zone de turbulence et d'éviter toute installation de la population dans ladite zone.

Pour un souci de bonne gouvernance et d'efficacité, les mesures ci-dessus doivent être accompagnées par une mise en place d'un réseau national intégré de surveillance du bruit afin de tenir compte de toutes les sensibilités.

Le travail que nous avons mené tout au long de cette recherche pose plusieurs questions et ouvre de nouvelles perspectives de recherche. Ainsi, suite à nos travaux, plusieurs prolongements sont possibles.

Une des pathologies généralement associée à la pollution est l'hypertension. La disposition des données longitudinales permettra de tester aussi cette hypothèse.

La présente étude comporte aussi certaines insuffisances liées aux difficultés rencontrées tout au long de la présente recherche. Ainsi, la peur de déguerpissement à l'image des récentes relocalisations des populations dans le cadre du projet ZACA<sup>43</sup>, fait que certains riverains ont marqué un refus catégorique de répondre à nos questions. Une des difficultés majeures est aussi la mobilisation des enquêtés et des spécialistes pour les examens d'audiométrie. C'est ce qui explique en partie, la faible taille de notre échantillon pour ledit examen. Les résultats issus de cet examen ont pour but de jeter une base pour des recherches futures avec une taille d'échantillon plus grande.

---

<sup>43</sup> ZACA= Zone d'Activités Commerciales et Administratives

---

**Références bibliographiques**

---

- ABDOULAYE, S. (1997):** Internalisation des coûts de pollutions industrielles : cas des tanneries SBMC et TAN ALIZ. Mémoire DEA/PTCI, FASEG, Université de Ouagadougou.
- A.D.P.,** Loi N° 002/ADP/94 du 19/01/94 portant Code de l'Environnement au Burkina Faso.
- AMBAPOUR, S. (2001):** Dix ans d'ajustement en Afrique: application d'un modèle de comptage, *DT 005*.
- AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS (1997):** "Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn", *Pediatrics*, Oct. 1997, Vol. 100 No. 4: 724-727.
- ARAUJO, C., J-F., BRUN et J-L., COMBES (2004):** *Econométrie*, Bréal, Rosny, coll. Amphi Economie, 312p.
- ASCHAUER, A. (1989):** "Is public expenditure productive?" *Monetary Econ.* vol. 28, pp. 177-200.
- BALL, M. (1973):** "Recent empirical work of the determinants of relative house prices", *Urban studies*, vol. 10, pp. 213-233.
- BANSE, (2001):** Etude des facteurs de risque de surdité par traumatisme sonore chez les travailleurs de la SONABEL, mémoire de fin de cycle attaché de santé en ORL, Ecole Nationale de la Santé Publique, Ouagadougou.
- BARDE, J. P. (1992):** *Economie et politique de l'environnement*, PUF ; Paris, 375p.
- BARTIK, T. J. (1987):** "The estimation of demand parameters in hedonic price models", *Journal of Political Economy*, vol. 95, n°11, pp. 81-88.
- BATEMAN, I. J. et al (2001):** *The Effect of Road Traffic Noise on Residential Property Values: A Literature Review and Hedonic Pricing Study*, Edinburgh: Scottish Executive Development Department.
- BATEMAN, I. J. et R. K., TURNER (1993):** Valuation of the environment methods and techniques: the contingent valuation method. *Sustainable Environmental economics and Management: principles and practice* (Turner R. K., Ed., pp. 120-191), Belhaven, London.
- BELL, M. et E., FEITELSON (1991):** "U. S. economic restructuring and the demand for transportation services", *Transpn Quart.* Vol. 45, pp. 517-538.

- BLOOM, D.E., et D., CANNING (2000):** “The Health and Wealth of Nations”, *Science’s Compass* 287: 1207-1209.
- BLOOM, D.E., D., CANNING et J., SEVILLA (2001):** “The Effect of Health on Economic growth: Theory and Evidence”, Working Paper # 8587, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- BOATENG, C. A. et G. K, AMEDOFU (2004):** “Industrial noise pollution and its effects on the hearing capabilities of workers: A study from saw mills, printing presses and corn mills”, *African Journal of Health Sciences*, vol. 11, n°1-2, pp. 55-60
- BONNIEUX, F. (1998):** “Principes, mise en oeuvre et limites de la méthode d'évaluation contingente”, *Economie Publique*, vol. 1, pp. 47-90.
- BÖRKEY, P. et M., GLACHANT (2002):** “Accords négociés et autoréglementation : des modes originaux de réglementation environnementale” *Revue d'Economie Industrielle (1998)*, vol. 83 augmenté.
- BÖRKEY, P. et M., GLACHANT (1997):** “Les engagements volontaires de l'industrie dans le domaine de l'environnement: nature et diversité”, Study for the French Ministry of Spatial Planning and the Environment and French environmental protection agency, Ademe.
- BRASINGTON, D. et D., HITE (2005):** “Demand for environmental quality: a spatial hedonic analysis”, *Regional Science and Urban Economics*, vol. 35, pp.57-82
- BRUECKNER, J.K., et R., GIRVIN (2006):** Airport noise regulation, airline service quality, and social welfare, Working paper, University of California, Irvine.
- BUTTON, K. (2003),** “The potential of meta-analysis and value transfers as part of airport environmental appraisal”, *Journal of Air Transport Management* 9 : 167-176.
- BOX, G.E.P. et D. R., COX (1964):** “An analysis of transformation”, *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, vol. 26, pp. 211-252.
- CAMPO P., et J.C., CNOCKAERT (1989):** Risques encourus par le fœtus chez la femme enceinte exposée au bruit. Etude bibliographique. *Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS*, n° 137, 4<sup>ème</sup> trimestre 1989, ND 1756-134-89, pp. 633-637.
- CAMPO P., et A., DAMONGEOT (1991):** La pondération A est-elle un indicateur pertinent de la nocivité des bruits de basses fréquences? Etude

bibliographique. *Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS*, n° 144, 3<sup>ème</sup> trimestre 1991, ND 1843-144-91, pp. 485-488.

**CARSON, R.T., N.E., FLORES et R.C., MITCHELL (1999)**: The Theory and Measurement of Passive-Use Value, in *Valuing Environmental preferences, Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU, and developing Countries*, Ed I.J. Bateman &K.G. Willis, pp 97-130.

**CAVAILHES, J. (2005)**: "Le prix des attributs du logement", *Economie et Statistique*, n° 381-382.

**CELL, D. C. (1982)**: Charges to control aircraft noise. *Environmental Policy Implementation* (Mann D. E., Ed.), Lexington Books, Lexington, Massachusetts.

**CHESHIRE, P. et S., SHEPPARD (2002)**: "Welfare economics of land use regulation", *Journal of Urban Economics*, vol. 52, no. 2, pp. 242-269

**CLARK, D. E. et W. E., HERRIN (2000)**: "The impact of public school attributes on home sale price in California", *Growth and Change*, vol. 31, pp. 385-407.

**COLLINS, A. et A., EVANS (1994)**: "Aircraft noise and residential property values: An artificial neural network approach", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 28, issue 2, pp. 175-197.

**DEJOY, D. M. (1986)**: "Effets cardiovasculaires du bruit. Revue bibliographique", *Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS*, n°122, 1<sup>er</sup> trimestre 1986, ND 1568-122-86, pp. 37-44.

**DESAIGUES, B. et P., POINT (1993)**: *Economie du patrimoine naturel : valorisation des bénéfices de protection de l'environnement*, Economica, Paris, 317p.

**DIEWERT, E. (2001)**: "Régressions hédonistes : une méthode fondée sur la théorie du consommateur", Communication sollicitée, présentée par l'Université de la Colombie britannique (Canada) CES/AC.49/2001/3

**DOUKOURE, F. B. (2005)**: *Méthodes économétriques: cours et travaux pratiques*, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 487p.

**EPPEL, D. (1987)**: "Hedonic prices and implicit markets: estimating demand and supply functions for differentiated products", *Journal of Political Economy*, vol. 95, pp. 59-80.

**ESPEY, M. et H., LOPEZ (2000)**: "The impact of airport noise and proximity on residential property values", *Growth and Change*, vol. 31, pp. 408-419.

**FABUREL, G. et I., MALEYRE (2007):** “Le bruit des avions comme facteur de dépréciations immobilières, de polarisation sociale et d’inégalités environnementales. Le cas d’Orly”, *Développement durable et territoire*, Dossier 9 : Inégalités écologiques, inégalités sociales, mis en ligne le 15 avril 2007. URL : <http://developpementdurable.revues.org/document2775.html>. Consulté le 25 mars 2008

**FABUREL, G., I., MALEYRE et F., PEIXOTO (2004):** Dépréciation immobilière et ségrégation sociale pour cause de bruit des avions : Mesure économétrique et analyse territoriale dans 8 communes proches de l’aéroport de Orly. Rapport d’étude.

**FABUREL, G. et S., LUCHINI (2000):** “Evaluation du coût social du bruit des transports : Application de l’évaluation contingente au bruit des avions à Orly”, *Revue Région et Développement*, vol. 12, pp....

**FAUCHEUX, S. et J. F., NOEL (1995):** *Economie des ressources naturelles et de l’environnement*, Armand colin éditeur, Paris, ...p.

**FIELDS, J.M. (1999):** An updated catalog of 360 social surveys of residents reactions to environmental noise (1943-1993). *Atlanta: Georgia Institute of Technology*.

**FEITELSON, E. (1989a):** “A property rights approach to transportation noise: the Israel case in perspective”, *Transportation Research*, vol. 23A, pp. 349-358.

**FEITELSON, E. (1989b):** “Efficiency, economic incentives and noise treatment policy: the Ben-Gurion airport experience”, *Transportation Research Record*, vol. 1240, pp. 1-7.

**FEITELSON, E.I., R.E., HURD et R.R., MUDGE (1996):** “The impact of airport noise on willingness to pay for residences”, *Transportation Research, Part-D*, vol. 1, n°1, pp. 1-14.

**FLORU, R. et J. C., CNOCKAERT (1994) :** Effets non traumatiques du bruit sur la santé, la sécurité et l’efficacité de l’homme au travail. Etude bibliographique. Cahiers de Notes Documentaires de l’INRS, n°154, 1<sup>er</sup> trimestre 1994, ND 1954-154-94, pp. 69-97.

**FLORU, R.; J. C., CNOCKAERT et A., DAMONGEOT (1987):** Vigilance et nuisances physique- synthèse bibliographique. Cahiers de Notes Documentaires de l’INRS, n°128, 3<sup>e</sup> trimestre 1987, ND 1635-128-37, pp. 331-355.

- FREEMAN A.M. III., (1993):** "Property value models", in *The measurement of Environmental and Ressource Values*. Washington, Ressource For the Future, pp 367-420.
- GESUALDI, J. F. (1987):** "Gonna fly now: All the noise about airport access problem", *Hofstra Law Review*, vol.16, pp. 213-285.
- GOODMAN A.C., et T.G., THIBODEAU (1997):** "Dwelling-Age-Related Heteroskedasticity in Hedonic House Price Equations: An Extension", *Journal of Housing Research*, vol.8, pp. 299-317
- GOURIEROUX, C. (1989):** *Econométrie des variables qualitatives*, 2<sup>e</sup> Edition, Economica, Paris, 430 p.
- GRAEVEN, D. B. (1974):** "The effects of Airplane Noise on Health: an Examination of Three hypotheses", *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 15, n°4, pp. 336-343.
- GRAVEL, N. (...):** La méthode hédonique d'évaluation des biens immobiliers: intérêts et limites pour les parcs HLM, CNRS n°7536, Cergy-Pontoise.
- GROSSMAN, M. (1972):** "On the concept of health capital and the demand for health", *Journal of Political Economy*, vol.80, pp. 223-255.
- GREEN, W.H. (2000):** *Econometric Analysis*, Printice Hall.
- HAUSSMAN, J.A.; B.H., HALL et Z., GRILICHES (1984):** "Econometric models for count data with an application to the patents-R and D relationship", *Econometrica*, vol. 52, pp. 909-938
- HYGGE, S.; W. E., GARY et M., BULLINGER (2002):** "A Prospective Study of Some Effects of Aircraft Noise on Cognitive Performance in Schoolchildren" *Journal of the American Psychological Society*, Vol. 13, n°5, pp. 469-474.
- INSD (2008):** Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2006. Résultats définitifs.
- ISO (1996):** Acoustique, Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre, partie 2, méthode de calcul, ISO 9613-2: 1996(E), Genève.
- KIESLING et al. (2004):** "O'Hare international airport noise pollution: A cost-benefit analysis", *Economics* 370.
- KLEIN, L.R. and H. RUBIN (1948):** "A Constant-Utility Index of the cost of living", *Review of Economic Studies*, vol. 15, pp. 84-87.
- KNOWLES, S. et D., OWEN (1997):** "Education and health in an effective-labour empirical growth model", *The Economic Record*, vol. 73, pp. 314-328.



- LAFFONT, J-J. et D., MARTIMORT (2001):** *The Theory of Incentives. The Principal Agent Model*, Princeton University Press, p
- LAMBERT, J. (2001) :** Caractérisation, mesures et descripteurs acoustiques de la gêne due au bruit routier. Journées d'étude : *Bruit du Trafic Routier* 22-23 novembre 2001.
- LAMBERT, J. (2000) :** Le bruit des transports en Europe : exposition de la population, risques pour la santé et le coût pour la collectivité. *Colloque du Conseil National du Bruit*.
- LANCASTER, K.J. (1966):** "A new approach to consumer theory", *Journal of Political Economy*, vol. 74, pp.132-157.
- LANG, S. (1997):** Kids Near Airports don't Read as Well Because they Tune out Speech, Cornell University: Science News, April 1997.
- LEE, L.-F. (1986):** "Specification test for Poisson regression models", *International Economic Review*, vol.27, pp. 689-706
- LESAGE, J.P. (1997):** "Regression Analysis of special data", *Journal of Regional Analysis and Policy*, vol. 27, n°2, pp. 83-94.
- LEVESQUE, T.J., (1994):** "Modelling the effects of airport noise on residential housing markets", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 28, pp. 199-210.
- LERCHER, P., G. W., EVANS, M., MEIS et W. W., KOFLER (2002):** "Ambient Neighborhood Noise and Children's Mental Health", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 59, pp. 380-386.
- LEVINSON, D.M., D., GILLEN et A., KANAFANI, (1998):** "The social costs of intercity transportation: a review and comparison of air highway", *Transport Reviews*, vol. 18, pp. 215-240.
- LIPSCOMB, C. (2003):** "Small cities matter too: The impacts of an airport and local infrastructure on housing prices in a small urban city", *Review of Urban and Regional Development Studies*, vol. 15, n°3, pp. 255-273.
- LOOTEN, A. (1994) :** Le bruit des aéroports : impact sur la santé, *exposé pour les journées techniques sur les aéroports internationaux et la politique des transports*, Madrid.
- MATHESON, M. et S., STANSFELD (2003):** "Noise Pollution: Non-auditory Effects on Health", *British Medical Bulletin*, vol. 68, pp. 243-257.

- MAYERES, I. S., OCHELEN et S., PROOST (1996):** “The marginal external costs of urban transport”, *Transportation Research Part D*, vol. 1, pp. 111-130.
- McMILLEN, D.P. (2004a):** “Airport expansions and property values: The case of Chicago O’Hare Airport”, *Journal of Urban Economics*, vol. 55, n°3, pp. 627-640.
- MOCAN, N., EDARL et T., JEFFREY (2004):** “The Demand for Medical Care in Urban China”, *World Development*, vol.32, n° 2, pp. 289-309.
- MORRELL, P. , H., CHERIE et Y. LU (2000):** “Aircraft noise social cost and charge mechanisms – a case study of Amsterdam Airport Schiphol”, *Transportation Research Part-D*, vol. 5, pp. 305-320.
- NELSON, P. J. (2004):** “Meta-analysis of airport noise and hedonic property values: problems and prospects” *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 38, n°1, pp. 1-28.
- NELSON, J. P. (1981):** “Measuring benefits of environmental improvements: aircraft noise and hedonic prices”, *Advances in Applied Microeconomics* (Smith V. K., Ed., vol. 1, pp. 51-75). JAI Press, Greenwich, CT.
- NELSON, J. P. (1980):** “Airports and property values: A survey of recent evidence”, *Journal of Transport Economics Policy*, vol. 14, pp. 37-52.
- NICOLAS, J.P. (2002):** Le coût des nuisances des transports : Méthodes d’évaluation et usage des résultats obtenus. Document de travail n°98/02.
- OACI (1988):** Normes et pratiques recommandées internationales, protection de l’environnement, annexe 16 ; vol. 1, 2<sup>e</sup> Ed, Québec, 127p.
- OUEDRAOGO, B. (2001):** Eléments économiques pour la gestion de l’offre et de la demande du bois énergie dans la région de Ouagadougou. Thèse de doctorat unique, Université de Ouagadougou et Université Montesquieu - Bordeaux IV.
- OUEDRAOGO-DIALLO, B. (2003):** Les facteurs de risque auditif chez les travailleurs de l’aéroport international de Ouagadougou. Mémoire de fin de cycle attaché de santé en ORL, Ecole Nationale de la Santé Publique, Ouagadougou.
- PALMQUIST, R.B. (1992a):** “Valuing localized externalities”, *Journal of Urban Economics*, vol. 31, n°1, pp. 59-68.
- PALMQUIST, R.B. (1992b):** “A note on transactions costs, moving costs, and benefit measurement”, *Journal of Urban Economics*, vol. 32, n°1, pp. 40-44.
- PAUCELLE, I. (2003):** Santé et productivité : De l’économie à la psychologie sociale et au modèle de propagation, Séminaire “*Economie du travail et inégalités*”.

- PEARCE, D. W. et A., MARKANDYA (1989):** *L'évaluation monétaire des avantages des politiques de l'environnement*, OCDE, Paris, 91 p.
- PENNINGTON, G.; N., TOPHAM et R., WARD (1990):** "Aircraft noise and residential property values adjacent to Manchester international airport", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 24, pp. 49-59.
- RODRIGUEZ, M. et C. F., SIRMANS (1994):** "Quantifying the value of view in single-family housing markets", *Appraisal Journal*, vol. 62, pp.600-603.
- ROSEN, S. (1974):** "Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition", *Journal of Political Economy*, vol. 82, n°1, pp. 35-55.
- ROSENLUND M., N. BERGLIND, G. PERSHAGEN, L. JÄRUP, et G. BLUHM (2001):** "Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise" *Occup Environ Med*, vol. 58, pp. 769-773.
- ROZAN, A. (2000):** "Bénéfices de santé liés à la qualité de l'environnement: Peut-on négliger les coûts privés? ", *Revue économique*, vol. 51, n° 3, Développements récents de l'analyse économique: XLVIIIe congrès annuel de l'Association française de science économique 1999#. (May, 2000), pp. 595-608.
- ROZAN, A. (1999):** Evaluation contingente des bénéfices de santé d'une amélioration de la qualité de l'air. L'exemple de la Région Strasbourgeoise. Thèse de doctorat de science économique, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 249p.
- SAVADOGO, K. et al. (2006) :** *Les conditions de vie, les revenus et la pauvreté des ménages ruraux au Burkina Faso en 2004 : résultats de l'enquête de base du PNGT 2*. Rapport d'étude, PGNT 2, Ouagadougou.
- SAMUELSON, P. A. (1948):** "Some Implications of Linearity" *Review of Economic Studies*, vol. 15, pp. 88-90.
- SCHIPPER, Y., P. NIJKAMP, et P. RIETYELD (1998):** "Why do aircraft noise estimates differ? A meta-analysis", *Journal of Air Transport Management*, vol. 4, n°2, pp. 117-124.
- SMITH, V. K. et J. C. HUANG (1995):** "Can markets value air quality? A meta-analysis of property value models", *Journal of Political Economy*, vol. 103, pp. 209-227.
- STEVENSON, S. (2004):** "New empirical evidence on heteroscedasticity in hedonic housing models", *Journal of Housing Economics*, vol. 13, pp. 136-153.

- STONE, J. R. N. (1954):** "Linear expenditure systems and demand analysis : An Application to the pattern of British demand", *Economic Journal*, vol. 64, pp. 511 - 527.
- THIOMBIANO, N. (2003):** Impacts de la pollution acoustique des avions sur les populations riveraines de l'aéroport de Ouagadougou. Mémoire DEA/PTCI, UFR-SEG, Université de Ouagadougou.
- THIOMBIANO, T. (2007) :** "Les fondements de la Socioéconométrie", *Afrique et développement*, vol. 32, n°3, pp. 1-25.
- THIOMBIANO, T. (2002):** *Econométrie des modèles dynamiques*, Ed. l'Harmattan, Paris, 504 p.
- THIOMBIANO, T. (1998):** *Vers une nouvelle approche en économie politique : la socioéconométrie*, P.U.O / C.A.S.E., Ouagadougou 43 p.
- THUILLIER, D. (1994):** La modélisation microéconomique de la demande de logement. Apports d'une analyse appliquée au Maroc, *Revue d'Economie de Développement*, n°2, pp.65-95.
- TOMKINS, J., N., TOPHAM, J., TWOMEY et R., WARD (1998):** Noise versus access: The impact of an airport in an urban property market, *Urban Studies*, vol. 35, n°2, pp.243-258.
- TRIPLETT, J.E. (1986):** The economic interpretation of hedonic methods, *Survey of Current Business*, vol. 66, pp. 36-40.
- UYENO, D., S. W., HAMILTON et A. J. G., BIGGS (1993):** Density of residential land use and the impact of airport noise, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 27, pp. 3-18.
- VAN PRAAG, B.M.S. et B.E., BAARSMA (2005):** "Using happiness surveys to value intangibles: The case of airport noise", *Economic Journal*, vol. 115, n°1, pp. 224-246.
- VASSELIN, F. (2005):** "Prix hédonistes et marches implicites: le cas des produits d'information", *Séminaire d'Etude et de Statistiques Appliquée à la Modélisation*, XVe journées.
- VERHOEF, E. (1994):** External effects and social cost of road transport. *Transportation Research Part A*, vol. 28, pp. 273-287.
- WHEELER, D. (1980) :** "Basic needs fulfilment and Economic growth", *Journal of Development Economics*, vol. 7, pp. 435-451.

**WILLINGER, M. (1996):** La méthode d'évaluation contingente : de l'observation à la construction des valeurs de préservation, *Natures - Sciences - Sociétés*, vol. 4, n°1, pp. 6-22.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

---

**ANNEXES**

---

Annexe 1	: Modèle de l'OACI.....	176
Annexe 2	: Rprésentation graphique des mouvements commerciaux et non commerciaux des avions.....	177
Annexe 3	: Questionnaire.....	178
Annexe 4	: Quelques résultats du test audiométrique .....	183
Annexe 5	: Estimation des effets marginaux du probit multinomial.....	188

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

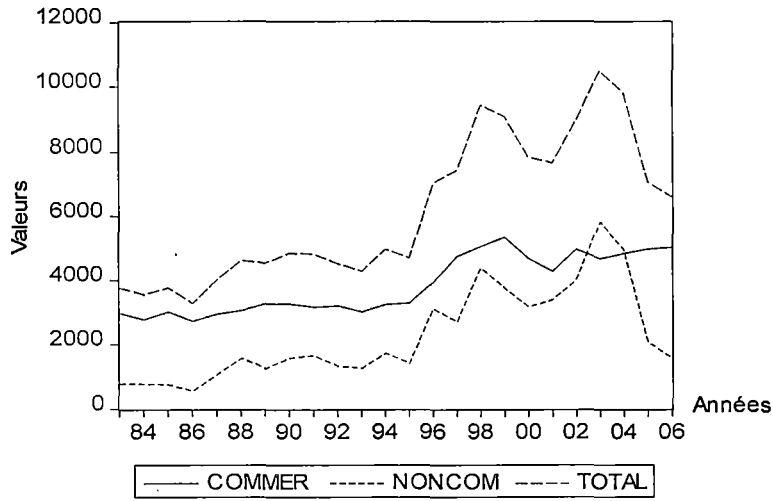
**Annexe 1** : Modèle de l'OACI

M= masse maximale  
au décollage (tonnes)      0      34,06                                      358,9                                      384,7

Niveau de bruit latéral (EPNdB)	96	$85,83 + 6,64 \log M$	103
Limite de bruit à l'approche (EPNdB)	98	$87,83 + 6,64 \log M$	105
Limite de bruit au survol (EPNdB)	89	$63,56 + 16,61 \log M$	106

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**Annexe 2** : Représentation graphique des mouvements commerciaux et non commerciaux des avions



CODESRIA - BIBLIOTHEQUE





Date : .....  
 N° de la cour : .....  
 Enquêteur : .....

Secteur : .....  
 Source de la pollution : .....  
 N° ménage : .....

## 1.2. CARACTERISTIQUES DE L'HABITAT

<b>Statut d'occupation</b> 1. Propriétaire 2. Locataire	<b>Type d'habitat</b> 1. Célibatérium 2. Mi Villa 3. Villa 4. Immeuble	<b>Matériaux de construction</b> En dur En banco	<b>Nombre de chambres</b>	<b>Nombre de douches</b>	<b>Nombre de WC</b>	<b>Superficie habitable (en m²)</b>	<b>Age de la maison (en années)</b>	<b>Présence d'eau courante</b> 1. Oui 2. Non	<b>Valeur locative mensuelle (en FCFA)</b>	<b>Valeur constructive si propriétaire (en FCFA)</b>	<b>Présence de plafond</b> 1. Oui 2. Non	<b>Fissure dans les murs intérieurs</b> 1. Oui 2. Non

## 1.3. CARACTERISTIQUES DE PROXIMITE

A quelle distance de chez de vous se situe (en km) ?						Au cours de 12 derniers mois, dans le secteur			
<b>Ecole primaire</b>	<b>Dispensaire</b>	<b>Lieu de travail</b>	<b>Aéroport</b>	<b>Centrale thermique</b>	<b>Etablissement secondaire</b>	<b>Centre commercial</b>	<b>Un membre du ménage a-t-il été victime de vol, agression ou violence ?</b> 1. Oui 2. Non	<b>Un membre du ménage a-t-il été témoin d'un vol, agression ou violence ?</b> 1. Oui 2. Non	<b>Le logement a-t-il été victime de cambriolage ou tentative d'effraction ?</b> 1. Oui 2. Non

## 1.4. REVENU PERMANENT MENSUEL DU MENAGE

A combien estimez vous les dépenses mensuelles suivantes pour le ménage (en FCFA) ?										
<b>Consommation alimentaire</b>	<b>Dépenses en santé</b>	<b>Eau</b>	<b>Téléphone</b>	<b>Electricité</b>	<b>Loyer</b>	<b>Déplacement</b>	<b>Gages versés aux employés de la maison</b>	<b>Autres</b>	<b>Epargne</b>	<b>Donner une estimation du revenu mensuel du ménage</b>

Date :.....  
 N° de la cour :.....  
 Enquêteur :.....

Secteur :.....  
 Source de la pollution :.....  
 N° ménage :.....

## II. QUESTIONS EN VUE DE COMPRENDRE LES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA GENE DUE AU BRUIT DES AVIONS ET DES CENTRES THERMIQUES DE LA SONABEL

### II.1. Le passé et le devenir

Le passé			L'avenir		
<b>Région d'origine</b> 1. Site 2. Autre	<b>Type d'habitat antérieur</b> 1. Céliba 2. Mi Villa 3. Villa 4. Immeuble	<b>Raison d'habiter le site</b> 1. Profession 2. famille 3. Pas le choix 4. Autre	<b>Evolution de votre Environnement</b> 1. dégradat° 2. Améliorat°	<b>Anticipation évolution du bruit</b> 1. Oui 2. Non	<b>Anticipation évolution du nbre avions</b> 1. Oui 2. Non
					<b>Crainte pour l'avenir</b> 1. Oui 2. Non

### II.2. Durée et conditions d'exposition

<b>Depuis quand vivez-vous sur le site ?</b>	<b>Le bruit varie-t-il selon la saison ?</b> 1. Oui 2. Non	<b>Le bruit varie-t-il selon le climat qu'il fait ?</b> Plus gêné qu'avant Moins gêné qu'avant Pas de changement			<b>Avez l'intention de déménager ?</b> 1. Oui 2. Non	<b>Si oui pourquoi ?</b> 1. Bruit des avions 2. Bruit central 3. Meilleur logement 4. Voisinage 5. Délinquance 6. Raisons professionnelles	<b>Etes-vous habitué au bruit de votre cadre de vie</b> 1. Oui 2. Non
		Chaud	vent	Froid			

### II.3. La gêne, la qualité de vie et les caractéristiques

1. Pouvez-vous nous dire ce qui contribue à améliorer votre cadre de vie ?

.....

2. Pouvez-vous nous dire ce qui contribue à dégrader votre cadre de vie ?

.....

3. Quelles sont vos priorités en matière d'action sur votre environnement ?.....

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) lutte contre la pollution sonore | 4) réduction de la pollution de l'air |
| 2) lutte contre le bruit en général | 5) protection des paysages            |
| 3) aménagement des proximités       | 6) autre (à préciser).....            |

4. Quel est l'effet de l'environnement résidentiel par rapport à l'environnement professionnel ?

1. Positif 2. Négatif

### II.4. Relations entre la gêne et ses effets sur la santé et les comportements quotidiens

1. Habituellement, direz-vous qu'à cause du bruit vous dormez :

- 1) très mal 2) mal 3) assez mal 4) assez bien 5) bien 6) très bien

2. Vous arrive-t-il « souvent »..., à cause du bruit des avions :.....

- |  |   |
|--|---|
| 1) d'avoir des difficultés à vous endormir | 3) d'avoir le sommeil agité               |
| 2) de vous réveiller au cours de la nuit   | 4) d'être réveillé le matin avant l'heure |

Date :.....  
 N° de la cour :.....  
 Enquêteur :.....

Secteur :.....  
 Source de la pollution :.....  
 N° ménage :.....

**3. Les sensations éprouvées assez ou très souvent à cause du bruit des avions :.....**

- 1) difficulté de concentration  
 2) sensation d'angoisse  
 3) sensation de fatigue générale  
 4) migraines, maux de tête

**4. Effets du bruit des avions ou des centrales sont :**

- 1) néfastes sur la santé      2) comportements (agitation)      3) énervement

**5. Les effets du bruit sur la santé sont :** 1. Effets néfastes    2. Fatigue    3. Troubles ORL

**6. Vous arrive-t-il que le bruit des avions ou de la SONABEL vous cause des ennuis suivants à votre domicile :**

	Parfois	Souvent
Empêche de suivre une conversation		
Gêne l'écoute de la radio ou de la télévision		
Empêche d'ouvrir les fenêtres en journée		
Empêche d'ouvrir les fenêtres en soirée		
Empêche d'ouvrir les fenêtres la nuit		
Effraie, vous fait sursauter		

**7. Les avions et les centrales thermiques de la SONABEL ont une incidence négative :**

1. Oui    2. Non    3. Ne sait pas

**8. Cette incidence négative est principalement due :**

1. Au bruit    2. Aux rejets de gaz dans l'atmosphère    3. Aux deux

**9. Vous arrive-t-il de voir vos enfants**

	Rarement	Assez souvent	Très souvent
plus énervés ?			
parler plus fort ?			
faire des cauchemars ?			

**10. Pensez-vous qu'ici le bruit des avions et de la SONABEL ... pour vos enfants ?**

	Assez	Beaucoup
agit sur le comportement (agitation)		
a un effet néfaste sur la santé		
produit l'énervement		

**II.5. Gêne, l'information et la communication**

1. Qu'est-ce qui est fait pour réduire la pollution ?.....  
 .....

2. Est-ce qu'on peut réduire le bruit des avions et de la SONABEL ? 1. Oui    2. Non

3. Que préconisez-vous ? :.....  
 .....

Date :.....  
 N° de la cour :.....  
 Enquêteur :.....

Secteur :.....  
 Source de la pollution :.....  
 N° ménage :.....

4. Les pilotes suivent-ils les plans de vol, les couloirs aériens, les trajectoires ?   
 1. Oui                      2. Non                      3. Ne sait pas

5. Sinon, c'est plutôt :   
 1. les pilotes prennent des libertés avec les couloirs  
 2. le tour de contrôle demande des modifications des trajectoires

6. Est-ce que les pouvoirs publics font ce qu'il faut pour gérer l'incidence de l'aéroport et de la SONABEL sur la population ?   
 1. Oui                      2. Non

### III. Situation sanitaire (à administrer aux personnes déclarées souffrir au I.1)

Depuis quand souffrez-vous (en mois)	Quelle est la fréquence des crises?	Combien de jours dans le mois avez-vous arrêté votre travail ?	Quel est le montant moyen dépensé à chaque crise ?	Fréquence de la consultation	Quel est le type de recours ? 1. Soins trad. 2. Soins mod. 3. Les deux	Une personne de votre famille a-t-elle été immobilisée pour cela ? 1. Oui 2. Non	Si oui pendant combien de temps ?

### IV. Questions relatives à l'évaluation du niveau de gêne et l'esprit de participation à l'action collective

1. Etes-vous membre d'une association ?                      1. Oui                      2. Non                     

2. Avez-vous déjà participé à une œuvre communautaire ? 1. Oui                      2. Non                     

3. Si oui quel est le plus gros montant que vous avez donné ?..... FCFA

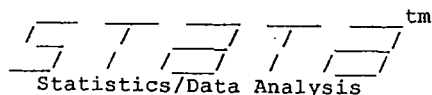
4. Etes-vous prêt à participer à une œuvre de lutte contre la pollution sonore par le déplacement de l'aéroport et/ou de la mise en place de la grille anti-pollution de la SONABEL ?  
 1. Oui                      2. Non                     

Vue tout ce qui vous vivez et venez de dire :

5. A combien situez-vous votre gêne sur une échelle croissante de 0 à 10 ?.....

6. A combien seriez prêt à payer pour réduire les effets néfastes du bruit des avions et de la SONABEL si l'Etat venait à demander votre contribution pour ce faire ?  
 .....FCFA

*Je vous remercie !*



8.2 Copyright 1984-2003  
 StataCorp  
 4905 Lakeway Drive  
 College Station, Texas 77845 USA  
 800-STATA-PC <http://www.stata.com>  
 979-696-4600 [stata@stata.com](mailto:stata@stata.com)  
 979-696-4601 (fax)

Single-user Stata for Windows perpetual license:  
 Serial number: 1980536215  
 Licensed to: Thiombiano  
 Université

Notes:

1. (/m# option or -set memory-) 1.00 MB allocated to data

1. (4 vars, 60 obs pasted into editor)  
 - preserve

2. oprobit nivg nbruit praudition fenetre, robust

Iteration 0: log pseudo-likelihood = -129.64864  
 Iteration 1: log pseudo-likelihood = -94.930841  
 Iteration 2: log pseudo-likelihood = -91.849334  
 Iteration 3: log pseudo-likelihood = -91.66964  
 Iteration 4: log pseudo-likelihood = -91.66855

Ordered probit estimates

	Number of obs	=	60
	Wald chi2(3)	=	54.15
	Prob > chi2	=	0.0000
	Pseudo R2	=	0.2929

Log pseudo-likelihood = -91.66855

nivg	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
nbruit	.331147	.0453463	7.30	0.000	.24227	.4200241
praudition	.8505015	.3410401	2.49	0.013	.1820752	1.518928
fenetre	.5794042	.2884285	2.01	0.045	.0140947	1.144714
(Ancillary parameters)						
_cut1	20.95194	3.108773				
_cut2	21.8078	3.170088				
_cut3	22.42848	3.18336				
_cut4	23.51492	3.258024				
_cut5	23.80907	3.256275				
_cut6	25.23548	3.402529				
_cut7	26.34974	3.50196				
_cut8	26.93904	3.577334				
_cut9	27.2073	3.600807				
_cut10	27.99892	3.706522				

3. mfx compute, predict(outcome(0))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==0) (predict, outcome(0))  
 = .00008232

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]		X
nbruit	-.0001092	.00027	-0.41	0.684	-.000635	.000417	72.9981
praudi-n*	-.0001561	.00039	-0.40	0.691	-.000925	.000613	.2
fenetre*	-.000312	.0007	-0.44	0.658	-.001691	.001067	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

4 . mfx compute, predict(outcome(1))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==1) (predict, outcome(1))  
 = .0017132

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	-.0017944	.00173	-1.04	0.299	-.00518 .001591	72.9981
praudi~n*	-.0027341	.00275	-0.99	0.321	-.008134 .002666	.2
fenetre*	-.0043836	.00387	-1.13	0.258	-.011978 .003211	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

5 . mfx compute, predict(outcome(2))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==2) (predict, outcome(2))  
 = .00917663

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	-.0076655	.00633	-1.21	0.226	-.020074 .004743	72.9981
praudi~n*	-.0125803	.01137	-1.11	0.269	-.034867 .009706	.2
fenetre*	-.0167552	.01347	-1.24	0.213	-.043152 .009641	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

6 . mfx compute, predict(outcome(3))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==3) (predict, outcome(3))  
 = .10315006

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	-.0543579	.01586	-3.43	0.001	-.085437 -.023279	72.9981
praudi~n*	-.1052171	.0441	-2.39	0.017	-.191645 -.01879	.2
fenetre*	-.1026928	.0624	-1.65	0.100	-.224989 .019604	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

7 . mfx compute, predict(outcome(4))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==4) (predict, outcome(4))  
 = .06709253

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	-.0233334	.01273	-1.83	0.067	-.048276 .001609	72.9981
praudi~n*	-.0529783	.03462	-1.53	0.126	-.120826 .014869	.2
fenetre*	-.0397423	.0283	-1.40	0.160	-.095204 .015719	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

8 . mfx compute, predict(outcome(5))

Marginal effects after oprobit  
 y = Pr(nivg==5) (predict, outcome(5))  
 = .5157431

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	-.028401	.02573	-1.10	0.270	-.078823 .022021	72.9981
praudi~n*	-.1453271	.095	-1.53	0.126	-.331528 .040874	.2
fenetre*	-.0271798	.04225	-0.64	0.520	-.109991 .055632	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

9 . mfx compute, predict(outcome(6))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=6) (\text{predict}, \text{outcome}(6)) \\ = .25148345$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	.0806631	.02334	3.46	0.001	.034926 .1264	72.9981
praudi~n*	.1837443	.07747	2.37	0.018	.031907 .335582	.2
fenetre*	.1366944	.07767	1.76	0.078	-.015539 .288928	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

10 . mfx compute, predict(outcome(7))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=7) (\text{predict}, \text{outcome}(7)) \\ = .03832303$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	.0237395	.01187	2.00	0.045	.00048 .046999	72.9981
praudi~n*	.081765	.05439	1.50	0.133	-.024835 .188365	.2
fenetre*	.037212	.02354	1.58	0.114	-.008934 .083358	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

11 . mfx compute, predic(outcome(8))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=8) (\text{predict}, \text{outcome}(8)) \\ = .00680319$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	.0052703	.00476	1.11	0.268	-.004059 .0146	72.9981
praudi~n*	.0220444	.02137	1.03	0.302	-.019844 .063933	.2
fenetre*	.0080849	.00795	1.02	0.309	-.007499 .023668	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

12 . mfx compute, predict(outcome(9))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=9) (\text{predict}, \text{outcome}(9)) \\ = .00591181$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	.0053774	.00394	1.36	0.172	-.002346 .013101	72.9981
praudi~n*	.0270418	.02115	1.28	0.201	-.014416 .0685	.2
fenetre*	.0081548	.00656	1.24	0.214	-.004704 .021014	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

13 . mfx compute, predict(outcome(10))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=10) (\text{predict}, \text{outcome}(10)) \\ = .00052068$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
nbruit	.000611	.001	0.61	0.541	-.001349 .002571	72.9981
praudi~n*	.0043977	.00605	0.73	0.467	-.007458 .016254	.2
fenetre*	.0009196	.00155	0.59	0.553	-.002118 .003958	.65

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

14 .



4 . mfx compute, predict(outcome(2))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=2) (\text{predict}, \text{outcome}(2))$$

$$= .00589745$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	-.0189202	.01068	-1.77	0.077	-.039859 .002019	.62069
bruitl	-.00381	.00193	-1.97	0.049	-.0076 -.00002	81.5147
incisa-e*	-.0152038	.01041	-1.46	0.144	-.0356 .005193	.758621
maldor*	-.0065622	.00425	-1.55	0.122	-.014886 .001761	.248276
durees-e	.0003329	.00023	1.43	0.153	-.000124 .00079	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

5 . mfx compute, predict(outcome(3))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=3) (\text{predict}, \text{outcome}(3))$$

$$= .09833332$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	-.1483786	.04308	-3.44	0.001	-.232818 -.06394	.62069
bruitl	-.0382843	.01036	-3.70	0.000	-.058582 -.017986	81.5147
incisa-e*	-.1165558	.04331	-2.69	0.007	-.201449 -.031663	.758621
maldor*	-.0739358	.02937	-2.52	0.012	-.131494 -.016378	.248276
durees-e	.0033452	.00147	2.28	0.023	.000466 .006224	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

6 . mfx compute, predict(outcome(4))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=4) (\text{predict}, \text{outcome}(4))$$

$$= .12908503$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	-.0952663	.03074	-3.10	0.002	-.155514 -.035018	.62069
bruitl	-.0292491	.00946	-3.09	0.002	-.047783 -.010715	81.5147
incisa-e*	-.0711966	.02921	-2.44	0.015	-.128444 -.01395	.758621
maldor*	-.0638395	.0273	-2.34	0.019	-.117346 -.010333	.248276
durees-e	.0025558	.00116	2.19	0.028	.000273 .004838	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

7 . mfx compute, predict(outcome(5))

Marginal effects after oprobit

$$y = \Pr(\text{nivg}=5) (\text{predict}, \text{outcome}(5))$$

$$= .27310841$$

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	-.0520924	.0228	-2.28	0.022	-.096787 -.007398	.62069
bruitl	-.0216456	.00809	-2.68	0.007	-.037494 -.005797	81.5147
incisa-e*	-.0312527	.01696	-1.84	0.065	-.064488 .001982	.758621
maldor*	-.0615943	.03303	-1.86	0.062	-.126336 .003147	.248276
durees-e	.0018914	.00102	1.85	0.064	-.000111 .003893	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

8 . mfx compute, predict(outcome(6))

Marginal effects after oprobit  
 $y = \text{Pr}(\text{nivg}=6)$  (predict, outcome(6))  
 = .1796206

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	.045596	.0182	2.50	0.012	.009917 .081275	.62069
bruitl	.0103806	.00498	2.08	0.037	.000617 .020145	81.5147
incisa~e*	.0400411	.01981	2.02	0.043	.001206 .078876	.758621
maldor*	.010939	.00967	1.13	0.258	-.008005 .029884	.248276
durees~e	-.000907	.00052	-1.74	0.083	-.001931 .000117	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

9 . mfx compute, predict(7))

option ) not allowed  
 r(198);

10 . mfx compute, predict(outcome(7))

Marginal effects after oprobit  
 $y = \text{Pr}(\text{nivg}=7)$  (predict, outcome(7))  
 = .19346257

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	.1231941	.03179	3.88	0.000	.060884 .185504	.62069
bruitl	.0361346	.00905	3.99	0.000	.018403 .053867	81.5147
incisa~e*	.0946534	.03581	2.64	0.008	.024459 .164848	.758621
maldor*	.0732778	.03056	2.40	0.017	.013374 .133182	.248276
durees~e	-.0031574	.00143	-2.21	0.027	-.005959 -.000355	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

11 . mfx compute, predict(outcome(8))

Marginal effects after oprobit  
 $y = \text{Pr}(\text{nivg}=8)$  (predict, outcome(8))  
 = .07350243

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	.076623	.02272	3.37	0.001	.03209 .121156	.62069
bruitl	.0240323	.00734	3.28	0.001	.009653 .038412	81.5147
incisa~e*	.0546433	.02031	2.69	0.007	.014842 .094444	.758621
maldor*	.0576829	.02833	2.04	0.042	.00216 .113206	.248276
durees~e	-.0020999	.00106	-1.98	0.048	-.004179 -.000002	14.5655

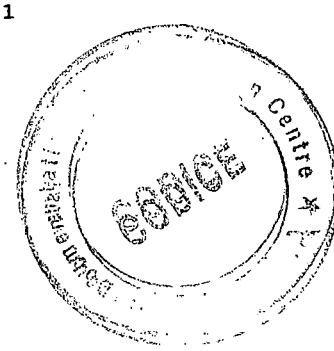
(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

12 . mfx compute, predict(outcome(9))

Marginal effects after oprobit  
 $y = \text{Pr}(\text{nivg}=9)$  (predict, outcome(9))  
 = .03718024

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
crainte*	.0528305	.02053	2.57	0.010	.012594 .093067	.62069
bruitl	.0168996	.00601	2.81	0.005	.005114 .028685	81.5147
incisa~e*	.0353133	.01284	2.75	0.006	.010156 .060471	.758621
maldor*	.0458073	.02448	1.87	0.061	-.002176 .093791	.248276
durees~e	-.0014767	.00068	-2.16	0.030	-.002814 -.00014	14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1



13 . mfx compute, predict(outcome(10))

Marginal effects after oprobit

y = Pr(nivg==10) (predict, outcome(10))  
 = 00938421

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[	95% C.I.	]	X
crainte*	.0186431	.01122	1.66	0.097	-.003343	.040629		.62069
bruit1	.0059002	.00343	1.72	0.085	-.000814	.012614		81.5147
incisa~e*	.0113428	.00716	1.58	0.113	-.002692	.025378		.758621
maldor*	.018806	.01128	1.67	0.095	-.003294	.040906		.248276
durees~e	-.0005156	.00033	-1.58	0.115	-.001156	.000125		14.5655

(\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE