



HAL
open science

L'évaluation socio-économique du bruit ferroviaire par l'observation de la dépréciation des prix immobiliers aux abords d'une infrastructure

Stéphane Lambrecht, Noëlvia Sedoarisoa

► To cite this version:

Stéphane Lambrecht, Noëlvia Sedoarisoa. L'évaluation socio-économique du bruit ferroviaire par l'observation de la dépréciation des prix immobiliers aux abords d'une infrastructure. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. 2018. hal-04501416

HAL Id: hal-04501416

<https://hal.science/hal-04501416>

Submitted on 12 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'évaluation socio-économique du bruit ferroviaire par l'observation de la dépréciation des prix immobiliers aux abords d'une infrastructure

RAPPORT FINAL

Janvier 2018

PROJET ECOBRUIT¹

01/09/2016 – 31/08/2017

--

Institut de Recherche Technologique RAILENIUM

Programme d'Investissements d'Avenir

Stéphane Lambrecht

*Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis (UVHC), Institut
du Développement et de la Prospective (IDP)*

Noelvia Sedoarisoa

Railenium

¹Le projet ECOBRUIT est un projet de l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Railenium, dont l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis est un des co-fondateurs. Il a été conduit en partenariat avec SNCF Réseau. Les auteurs remercient SNCF Réseau pour la mise à disposition des données acoustiques.

0. SOMMAIRE

0.	Sommaire	2
	LISTE DES ABREVIATIONS	4
	LISTE DES TABLEAUX	5
	LISTE DES ENCADRES	6
	LISTE DES FIGURES	7
1.	Introduction générale	8
2.	Notions fondamentales à mobiliser	17
	2.1. Généralités sur le mur antibruit	17
	2.2. Perception de l'efficacité acoustique des écrans antibruit	18
	2.3. Perception des effets non acoustiques des murs anti-bruit	18
3.	La méthode des prix hédonique pour l'évaluation des effets des murs antibruit	26
	3.1. Présentation générale de la MPH	26
	3.2. Démarche de mise en œuvre de la MPH	28
	3.3. Récapitulatif des résultats études hédoniques récentes sur le bruit ferroviaire	29
	3.4. Difficultés méthodologiques liées à la mise en œuvre de la MPH et les moyens permettant de les surmonter	31
4.	Données et sources mobilisées	44
	4.1. Données sur les transactions immobilières	44
	4.2. Données relatives au bruit ferroviaire et au mur antibruit	47
	4.3. Données relatives aux autres caractéristiques de localisation	55
5.	Le modèle à estimer	59
	5.1. Variable expliquée	59
	5.2. Variables explicatives	59
	5.3. La forme fonctionnelle	64
6.	Résultats de l'application de la MPH : cas de Noisy-le-Sec /Bondy et Chelles/Vaires-sur-Marne	66
	6.1. Noisy-le-Sec / Bondy	66
	6.2. Chelles et Vaires-sur-Marne	76
	6.3. Synthèse	84
7.	Bénéfices/coût apportés par les murs antibruit	91
	7.1. Cas de Noisy-le-Sec et Bondy	93
	7.2. Cas de Chelles et Vaires-sur-Marne	95
	7.3. Interprétation	97
8.	Conclusion générale : quels enseignements pour la définition de valeurs synthétiques à mobiliser dans les évaluations socio-économiques du bruit ?	100
9.	Références bibliographiques	104

LISTE DES ABREVIATIONS

ACB	Analyse coût / bénéfice
CAP	Consentement à payer (concept de l'analyse coût/bénéfice)
CAR	Consentement à recevoir (concept de l'analyse coût/bénéfice)
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
CINP	Chambre Interdépartementale des Notaires de Paris
dB(A)	Evaluation en décibels d'un niveau sonore avec la pondération A de la norme CEI 61672-1 « Electroacoustique - Sonomètres »
FNAIM	Fédération nationale des agents immobiliers
IAU-Idf	Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
IC	Intervalle de confiance
IRIS	Les îlots regroupés pour l'information statistique (IRIS) sont l'un des niveaux de collecte et de diffusion des données statistiques et démographiques en France, à l'échelle infra-communale, utilisés par l'Insee
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
LAeq	Niveau de pression acoustique continue équivalent
LAmx	Niveau maximum de bruit mesuré
Ld	(ou Lday) : niveaux sonores moyennés sur les périodes 6h-18h
LDEN	« Level-Day-Evening-Night » : niveau de bruit équivalent pondéré sur une période de 24h, auquel on attribue des facteurs de pondération pour les périodes de soirée et nocturnes
Ln	(ou Lnight) : niveaux sonores moyennés sur les périodes 22h-6h
MCO	Moindres Carrés Ordinaires (méthode économétrique)
MPH	Méthode des prix hédoniques
NDSI	« Noise Depreciation Sensitivity Index (pourcentage de dépréciation par décibel supplémentaire)
PNB	Points Noirs Bruit
SED	« Spatial-error-model » : prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les résidus)
SIG	Système d'information géographique
SLD	« Spatial-lag-model » : prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les variables explicatives)
STI	Spécifications techniques d'interopérabilité

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classement des différents types de murs antibruit (matériaux utilisés), selon l'appréciation de leur esthétique par les riverains.....	20
Tableau 2: Résultat de l'enquête pilote.....	23
Tableau 3: Récapitulatif des études de prix hédoniques récentes sur le bruit ferroviaire.....	30
Tableau 4: Caractéristiques structurelles prises en compte dans les études de prix hédoniques.....	41
Tableau 5: Caractéristiques d'accessibilité prises en compte dans les études de prix hédoniques.....	41
Tableau 6: Caractéristiques socio-économiques du voisinage prises en compte dans les études de prix hédoniques.....	42
Tableau 7: Caractéristiques de l'environnement physique prises en compte dans les études de prix hédoniques.....	42
Tableau 8 : Présentation de la base BIEN.....	46
Tableau 9 : Les variables utilisées dans le modèle.....	64
Tableau 10 : Description des caractéristiques des maisons : cas de Noisy-le-Sec et Bondy.....	67
Tableau 11 : Description des caractéristiques des appartements : cas de Noisy-le-Sec et Bondy.....	67
Tableau 12 : Résultats des régressions : cas des Maisons à Noisy-le-Sec et Bondy.....	71
Tableau 13: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Noisy-le-Sec et Bondy.....	72
Tableau 14: Résultats des régressions : cas des Appartements à Noisy-le-Sec et Bondy.....	73
Tableau 15: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des appartements à Noisy-le-Sec et Bondy.....	74
Tableau 16 : Description des caractéristiques des maisons : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne.....	76
Tableau 17: Description des caractéristiques des appartements : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne.....	77
Tableau 18 : Résultats des régressions : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne.....	80
Tableau 19 : Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne.....	81
Tableau 20: Résultats des régressions: cas des Appartements à Chelles et Vaires-sur-Marne.....	82
Tableau 21: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne.....	83
Tableau 22: Comparaison des pourcentages de dépréciation du prix des logements due au bruit ferroviaire.....	85
Tableau 23 : Comparaison des NDSI.....	87
Tableau 24: Comparaison de l'effet de l'esthétique des murs antibruit sur le prix des logements.....	88
Tableau 25 : Bénéfice / Coût engendré par la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy.....	95
Tableau 26 : Bénéfice / coût engendré par la pose des murs antibruit à Chelles/Vaires-sur-Marne....	97
Tableau 27 : Bénéfice / coût engendré par la pose des murs antibruit à Chelles/Vaires-sur-Marne (hypothèse MsV).....	97

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1: Matrice de poids et test de Moran.....	.36
Encadré 2 : Les différents tests de spécification permettant de choisir la meilleure spécification d'un modèle spatial.....	.37
Encadré 3 : Méthode de calcul du nombre de logement concerné par les effets des murs antibruit...	85

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique et brève description des communes de Noisy-le-Sec et Bondy..	14
Figure 2 : Localisation géographique et brève description des communes de Chelles et Vaires-sur-Marne.....	15
Figure 3: Residents' opinion of whether noise barrier benefits outweigh disadvantages, by zone.....	22
Figure 4: Residents' opinion of whether noise barrier.....	22
Figure 5: Effet principal du facteur visuel. Abscisses = écrans acoustiques ordonnés du jugement auditif du plus faible au plus élevé Ordonnées = jugements auditifs (normalisés).....	24
Figure 6: Cartographie stratégique de bruit des communes de Noisy-le-Sec et Bondy.....	48
Figure 7: Cartographie stratégique de bruit des communes de Chelles et Vaires-sur-Marne.....	49
Figure 8: Carte LAeq (6h00-22h00) en dB(A) pour les périodes avant et après la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy.....	51
Figure 9: Photos des murs antibruit installés à Noisy-le-Sec et Bondy.....	53
Figure 10: Photos des murs antibruit installés à Chelles.....	54
Figure 11 : Photos des murs antibruit installés à Vaires-sur-Marne.....	55
Figure 12: Superposition des données sur les transactions immobilières avec les données relatives à la localisation du logement : cas de Noisy-le-Sec et Bondy.....	57
Figure 13: Superposition des données sur les transactions immobilières avec les données relatives à la localisation du logement : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne.....	58
Figure 14: Comparaison des pourcentages de dépréciations observés dues au bruit et leurs intervalles de confiance à 90%.....	86
Figure 15: Comparaison des pourcentages de dépréciations / appréciations observés dues à l'effet esthétique des murs antibruit et leurs intervalles de confiance à 90%.....	89
Figure 16 : Identification des zones concernées par les effets du mur antibruit : cas de Noisy le sec et Bondy.....	94
Figure 17: Identification des zones concernées par les effets du mur antibruit (Chelles et Vaires-sur-Marne).....	96

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Rappel des enjeux de lutte contre le bruit

La réduction des nuisances sonores apparaît comme un enjeu majeur pour les territoires, en termes de santé mais aussi de qualité de vie. En effet, de nombreuses études scientifiques démontrent que les expositions au bruit de l'environnement sont associées à des effets extra-auditifs² au premier rang desquels figurent les perturbations du sommeil, la gêne, les maladies cardio-vasculaires et les difficultés d'apprentissage (voir par exemple W. Babish, 2002). En France, on estime d'ailleurs que deux tiers de la population (66%) est gênée par le bruit à son domicile. Si le bruit des transports représente 55% de cette gêne, le bruit du transport ferroviaire n'en représente en revanche que 7% (TNS SOFRES, 2010, sondage effectué pour le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer). Pourtant, le bruit est à ce jour un des aspects les plus significatifs de l'impact environnemental du transport ferroviaire, faisant l'objet de nombreuses réclamations de la part des riverains du trafic ferroviaire, qui se regroupent parfois en associations, et dont les plaintes sont bien souvent relayées par les élus locaux (Godin & Aliadière, 2000). Ainsi, si la gêne sonore liée au bruit des transports ferroviaires semble relativement limitée par rapport aux autres modes de transport, sa maîtrise s'avère indispensable pour aboutir à la meilleure insertion possible du réseau dans le cadre de vie des populations riveraines et pour répondre à la demande croissante de transport collectif (SNCF Réseau)³.

Face à de tels enjeux, les pouvoirs publics ont, depuis des années, mis en place des encadrements législatifs et règlementaires stricts. Par exemple, le code de l'environnement (articles R-571-44 à 52) a instauré des seuils de niveaux sonores à ne pas dépasser. Parmi ces mesures, figure aussi la mise en place d'un dispositif de rattrapage et de résorption des situations critiques ou « points noirs bruit » (PNB)⁴. Ce dernier impose aux gestionnaires d'infrastructure de recenser les bâtiments « points noirs bruit » et de mettre en œuvre des moyens d'actions permettant de les résorber. Le Grenelle de l'environnement a d'ailleurs réaffirmé cet objectif d'identification et de résorption des PNB considérés comme les plus préoccupants pour la santé. Selon SNCF Réseau, environ 58 000 bâtiments et 500 000 habitants sont potentiellement concernés (SNCF Réseau)⁵.

En application de ces réglementations, SNCF Réseau met en place les moyens d'actions qu'il estime les plus appropriés en fonction des différentes situations rencontrées. Ces dispositifs englobent à la fois : 1) la réduction du bruit à la source : - par la limitation de la propagation du bruit via des actions directement en lien avec la voie (abaissement ou enterrement de la ligne, remplacement des rails courts par de longs rails soudés, pose d'absorbeurs sur rails, etc.) ou - par la mise en place d'obstacles à la propagation des ondes sonores via la construction de murs ou de merlons antibruit ; 2) l'atténuation des nuisances sonores à la réception, en proposant une isolation de façade des habitations, mais celle-ci ne protège que l'intérieur des habitations et non l'espace extérieur (balcons, jardins) (SNCF Réseau)⁶.

² Effet n'impactant pas directement le système auditif.

³ SNCF Réseau. Prévenir et réduire le bruit ferroviaire pour un cadre de vie réservé [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.sncf-reseau.fr/fr/a-propos/developpement-durable/environnement/reduction-bruit>> (Consulté le 31/08/2017).

⁴ Par définition, un PNB ferroviaire est un bâtiment, qui répond simultanément à trois critères : 1) l'usage du bâtiment : habitation, établissements de soins, santé, action sociale ou enseignement ; 2) Un niveau moyen d'exposition au bruit : > 73 dB le jour et/ou > 68 dB la nuit ; et 3) l'antériorité : date de construction antérieure au 6 octobre 1978.

⁵ SNCF Réseau. *Ibid.*

⁶ SNCF Réseau, *op. cit.*

De ces différents dispositifs, la construction de murs antibruit apparaît comme une des solutions privilégiées en raison de son efficacité acoustique, les gains étant estimés entre 8 et 10 dB(A) (SNCF Réseau)⁷. Cette solution reste cependant coûteuse⁸ et représente un investissement considérable par mètre de linéaire d'écran. Elle semble engendrer par ailleurs un effet de coupure dans le paysage urbain (détérioration de la qualité de l'environnement visuel et paysager).

Rappel des enjeux liés à la monétarisation du bruit

Ce rapport s'inscrit dans la poursuite du travail réalisé en 2016 par L. RENAUD (Projet ECOBRUIT – LOT 1) intitulé : « *La valorisation économique du bruit ferroviaire. De l'exploitation d'études empiriques à l'élaboration des valeurs tutélaires : un état de l'art* » (Livrable 1), dans lequel, l'auteur présente une revue des littératures des études de monétarisation du bruit des transports ferroviaires ainsi que les différentes méthodes associées. Cet état de l'art a permis d'identifier et de caractériser la pollution émise par le transport ferroviaire où le bruit apparaît comme une externalité.

Selon Andrea Ricci (Cf. De Palma et Quinet, 2004), la théorie économique définit les externalités comme des variations du bien-être collectif générées par une activité donnée lorsque la transmission ne passe pas par des mécanismes de marché et de prix. Selon les différents cas de figure, elles peuvent être négatives (coûts externes) ou positives (bénéfices externes) et correspondre à des coûts ou bénéfices qui ne sont ni payés ni perçus par ceux qui en sont la source.

Pour valoriser ces effets non marchands, les méthodes d'évaluation sollicitées dans la littérature économique cherchent à mesurer le changement de bien-être⁹ des individus en déterminant ce que l'on appelle le consentement à payer (CAP), ou de manière complémentaire, le consentement à recevoir (CAR). Considérons par exemple un riverain d'une ligne de chemin de fer. L'infrastructure est source de nuisance sonore (situation initiale) mais il est possible de l'atténuer par la pose de murs antibruit (situation finale). Par conséquent, on appelle CAP la somme maximale que l'individu est prêt à donner pour atteindre la situation finale. A l'inverse, si l'on prend la situation finale comme référence, on appelle CAR la somme minimale que l'individu accepterait pour rester dans la situation initiale.

On classe alors les méthodes d'évaluation en deux catégories (Bontems et Rotillon, 2010) : (i) les méthodes directes où l'on interroge les individus sur leurs préférences pour connaître leur disposition à payer ou à recevoir (ii) les méthodes indirectes, pour la plupart¹⁰, basées sur l'observation du comportement des individus à partir duquel on déduit une mesure de surplus. Chacune de ces méthodes a pour objectif d'obtenir les préférences des individus. Pour la première classe de méthode, on parle de préférence déclarée dans la mesure où les données sont issues d'une enquête. Pour la seconde classe de méthode, on parle de préférence révélée dans la mesure où on utilise des données observables (prix, comportements, etc.)

Sur le plan opérationnel, la valorisation monétaire de ces effets permet de concevoir une prise de décision efficace, prenant appui sur l'analyse économique (exigence réglementaire). Elle permet par

⁷ *Ibid.*

⁸ De 2008 à 2013, l'entreprise s'est engagée à traiter certaines des zones les plus critiques (principalement en Ile-de-France, Rhône-Alpes, Aquitaine et Languedoc-Roussillon), pour un montant de 140 millions d'euros, tous financements confondus.

⁹ On entend par mesure du bien-être celle par le surplus du consommateur. Le consommateur retire de l'achat d'un bien ou d'un service un surplus de satisfaction, c'est-à-dire la somme supplémentaire qu'il aurait accepté de payer au-delà du prix plutôt que de renoncer à l'achat. Il s'agit donc de l'utilité totale monétarisée liée à l'achat moins la dépense liée à cet achat.

¹⁰ La méthode des fonctions de dommage ne passe pas par l'observation des comportements.

exemple d'évaluer l'efficacité financière des investissements dans les projets de pose de murs antibruit et de les comparer à chacune des options possibles. L'Analyse Coût / Bénéfice (ACB¹¹) apparaît désormais comme un outil de formulation de politique et d'aide à la décision tout à fait indispensable. La France, tout comme un certain nombre de pays européens, a été amenée à prendre des mesures juridiques obligeant à une évaluation des impacts. Dans le cas particulier des projets de développement de SNCF Réseau (Réseau Ferrée de France (RFF) du 13 février 1997 au 1^o janvier 2015), cette obligation est formulée par le biais de deux textes : 1) L'article 4 du décret n°97-444 du 5 mai 1997 relatif aux missions et aux statuts de RFF qui prévoit que « *les projets unitaires dont le montant excède un seuil, fixé par arrêté du ministre chargé des transports, sont soumis à son approbation, sur la base d'un dossier indiquant [...] l'évaluation [...] de la rentabilité économique et sociale de l'investissement projeté* ». 2) L'arrêté du 8 décembre 1997 du Ministre de l'équipement, des transports et du logement qui fixe le montant au-delà duquel les projets unitaires d'investissement de Réseau ferré de France sont soumis à l'approbation du ministre (23 M€), ce qui implique que l'évaluation socioéconomique des projets de développement de SNCF Réseau est systématique pour tout investissement d'un montant supérieur à 23 M€ (Brunel, 2014). L'enjeu est également financier car la participation des pouvoirs publics au financement du projet se fonde entre autres sur les résultats de l'ACB.

La valorisation monétaire du bruit répond en outre à un autre besoin opérationnel émanant de SNCF Réseau, visant à mieux appréhender la tarification du réseau, notamment afin d'anticiper l'entrée en vigueur des réglementations européennes sur la tarification des trains bruyants (Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) concernant le bruit). Toutefois, cette réglementation n'a à ce jour pas encore été retenue par la France.

Objectifs de l'étude

L'évaluation socioéconomique des effets environnementaux dans les projets d'infrastructures et dans les projets visant à développer la mobilité ferroviaire, s'appuie aujourd'hui sur les rapports des commissions présidées par Marcel Boiteux (Rapport Boiteux II) et Emile Quinet (Rapport Quinet, 2013)¹².

Le rapport Boiteux II a proposé des valeurs tutélaires¹³ de coût du bruit notamment en termes de pourcentage de dépréciation du prix immobilier en fonction du niveau de bruit. Le groupe de travail présidé par E. Quinet considère comme robuste cette méthode d'évaluation basée sur la dépréciation immobilière dans le rapport Boiteux II. Néanmoins, compte tenu des informations nécessaires à son application, cette dernière s'avère difficile à appliquer dans les phases amont des projets et a conduit le groupe de travail à proposer des valeurs tutélaires plus simples d'utilisation. Quinet distingue alors deux méthodes, détaillée et approchée, selon le niveau de raffinement des informations disponibles. La méthode approchée s'appuie sur les données du trafic, du type de véhicule et de l'environnement (Renaud, 2016).

¹¹ Les fondements théoriques de l'ACB sont pour l'essentiel les suivants : les bénéfices et les coûts sont respectivement comme des augmentations ou des réductions de bien-être humain (ou de l'utilité). Un projet ou une politique peuvent satisfaire au critère coût-bénéfice si leurs bénéfices sociaux sont supérieurs à leurs coûts sociaux. La « société » est simplement la somme des individus (OCDE, 2006).

¹² Voir Renaud, L. 2016, La valorisation économique du bruit ferroviaire. De l'exploitation d'études empiriques à l'élaboration des valeurs tutélaires : un état de l'art, IDP, UVHC, rapport pour le projet ECOBRUIT de l'IRT RAILINIUM.

¹³ Valeurs de référence de l'Etat.

Mais cette méthodologie est toujours perçue comme trop générale par les évaluateurs et semble souvent contestée par les riverains. Pour le gestionnaire d'infrastructure, comme pour les opérateurs ferroviaires, disposer d'une méthode plus fine mettant en rapport le coût des mesures de réduction du bruit et leur efficacité est devenu aujourd'hui un enjeu important.

Par ailleurs, les valeurs tutélaires proposées dans les rapports Boiteux et Quinet sont basées sur des moyennes issues d'études européennes et aucune étude française n'a été menée concernant le ferroviaire.

Le projet ECOBRUIT a donc précisément pour ambition de mener une analyse socioéconomique du bruit ferroviaire sur des données françaises et, le cas échéant, de proposer des éléments de réflexions à même de fournir des valeurs synthétiques susceptibles d'être appliquées dans les évaluations de SNCF Réseau. Il ne s'agit pas de proposer de nouvelles valeurs tutélaires ni d'indiquer aux évaluateurs la procédure à suivre pour réaliser une ACB. Le projet porte exclusivement sur les développements méthodologiques permettant de déterminer les CAP pour la réduction du bruit ferroviaire au travers d'exemples de pose des murs antibruit.

Aperçu de la méthodologie employée

Dans cette étude, le choix méthodologique, guidé par les résultats du premier livrable du projet repose sur la méthode des prix hédoniques (Rosen, 1974). Ce rapport a permis de constater que la valorisation du coût des nuisances sonores se fonde dans la grande majorité des cas sur cette méthode, qui mesure le CAP des individus à travers l'observation de la valeur d'un bien immobilier exposé au bruit par rapport à un autre situé dans un quartier plus calme (par exemple Day, Bateman & Lake (2007), Dekkers & van der Straaten, J. W. (2009), Andersson et al.(2010, 2013), Chang & Kim (2013), etc.). Les constatations empiriques corroborent pour une large part la validité et la fiabilité des estimations obtenues au moyen de la méthode des prix hédoniques (Renaud, 2016).

La MPH appliquée à la valorisation des biens environnementaux repose sur l'idée que le prix d'un bien immobilier dépend de ses caractéristiques, dont certaines sont liées à la qualité de l'environnement. Les différences de prix constatées entre des biens présentant par ailleurs des caractéristiques identiques traduisent alors des différences en matière d'environnement et fournissent une information sur le prix implicite de l'actif qui améliore (ou dégrade) la qualité de l'environnement et donc pour le CAP des individus.

La question principale que le projet ECOBRUIT s'est proposé de traiter était celle de l'effet du bruit ferroviaire sur le prix de l'immobilier dans un contexte de traitement du bruit par la pose de murs antibruit. En cours de recherche, il est apparu que ce traitement du bruit pouvait aussi avoir des effets négatifs sur le prix de l'immobilier. Nous avons donc à la fois quantifié le gain immobilier provenant de la réduction du bruit et la perte provenant de l'effet esthétique. La présence de cet effet esthétique vient confirmer des résultats déjà présents dans la littérature.

L'ensemble de la recherche a été conçu dans un cadre interdisciplinaire, combinant compétences économique, géographique (système d'information géographique ou SIG) et acoustique (revue des littératures, exploitation des courbes de bruit, échanges avec des acousticiens).

Les données mobilisées proviennent entre autres des bases notariales sur les transactions immobilières (la base BIEN) et des courbes de bruit issues de mesures acoustiques effectuées par SNCF Réseau et le CEREMA.

Choix des terrains étudiés

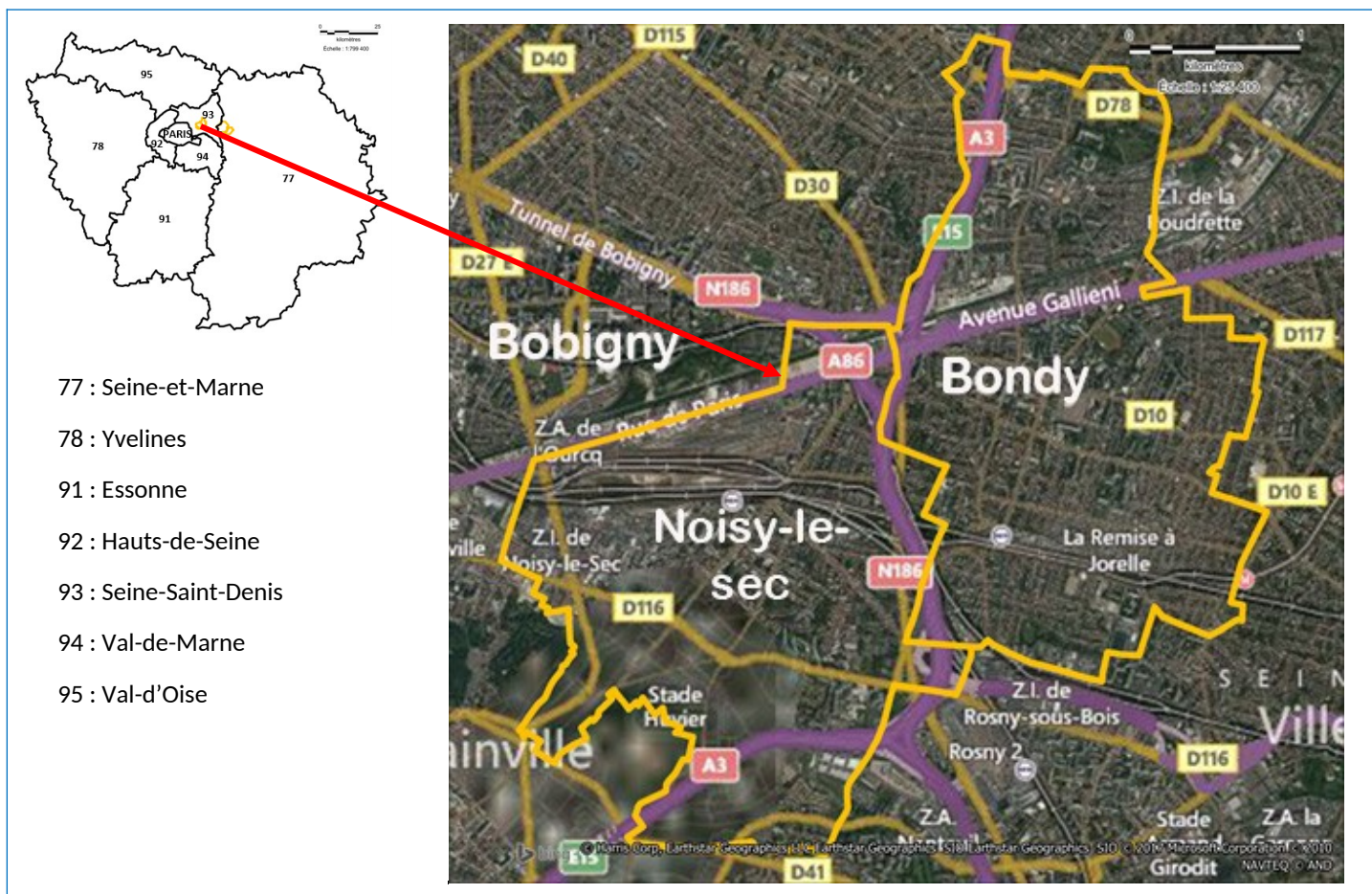
Au démarrage du projet, nous envisagions d'appliquer la méthode sur des terrains suffisamment contrastés. Il est reconnu que le transport ferroviaire est responsable de nuisances sonores variables suivant le type de trafic et l'environnement urbain (zone dense, péri-urbain, ...) dans lequel il est effectué. Les terrains envisagés incluaient : la Vallée de la Maurienne, la Vallée du Rhône, Aix-les-Bains, Vaires-sur-Marne/Chelles et Noisy-le-Sec/Bondy. L'idée était donc de s'intéresser à différentes zones représentatives des conditions de circulation et des milieux récepteurs.

En raison de diverses contraintes (notamment liées au faible nombre de transactions dans plusieurs zones envisagées), l'étude a finalement été focalisée sur les cas de Noisy-le-Sec/Bondy (Département de la Seine-Saint-Denis (93), Région Ile-de-France) et Chelles/Vaires-sur-Marne (Département de la Seine-et-Marne, situés également en région Ile-de-France). Le choix de ces deux terrains comme zone d'expérimentation a été orienté par l'existence de plusieurs paramètres d'importance pour la mise en œuvre de la MPH : la disponibilité d'un certain nombre de transactions immobilières ainsi que de données relatives aux niveaux de bruit. L'autre intérêt de l'étude du cas de Noisy-le-Sec/Bondy était que SNCF Réseau y avait installé des murs antibruit, tout en mesurant le niveau sonore avant et après leur pose.

Sur les terrains retenus, il convient de préciser que les sites de Noisy-le-Sec et Bondy¹⁴ ainsi que de Chelles et Vaires-sur-Marne sont au cœur d'une zone urbaine dense où le trafic ferroviaire représente la majeure source de bruit. En 2001, la zone urbaine située autour du nœud ferroviaire des communes de Noisy-le-Sec et Bondy a d'ailleurs été retenue comme site pilote d'opération de résorption des points noirs de bruit ferroviaire (PNBf). Chelles et Vaires-sur-Marne quant à elles font parties des communes retenues par l'Etat et ses partenaires (Région et RFF) (cf. Délibération du 6 décembre 2001 du Conseil Régional d'Ile-de-France) pour bénéficier du contrat de plan 2000-2006 qui prévoyait, dans son article 5, une nouvelle action régionale de lutte contre le bruit : les protections phoniques le long des infrastructures ferroviaires.

Les cartes suivantes (figures 1a et 1b) nous fournissent quelques renseignements sur ces deux zones.

¹⁴ Les deux communes forment un ensemble d'un peu moins de cent mille habitants (93 990) au recensement de 2013 et la densité y est de 8956 habitant par km².

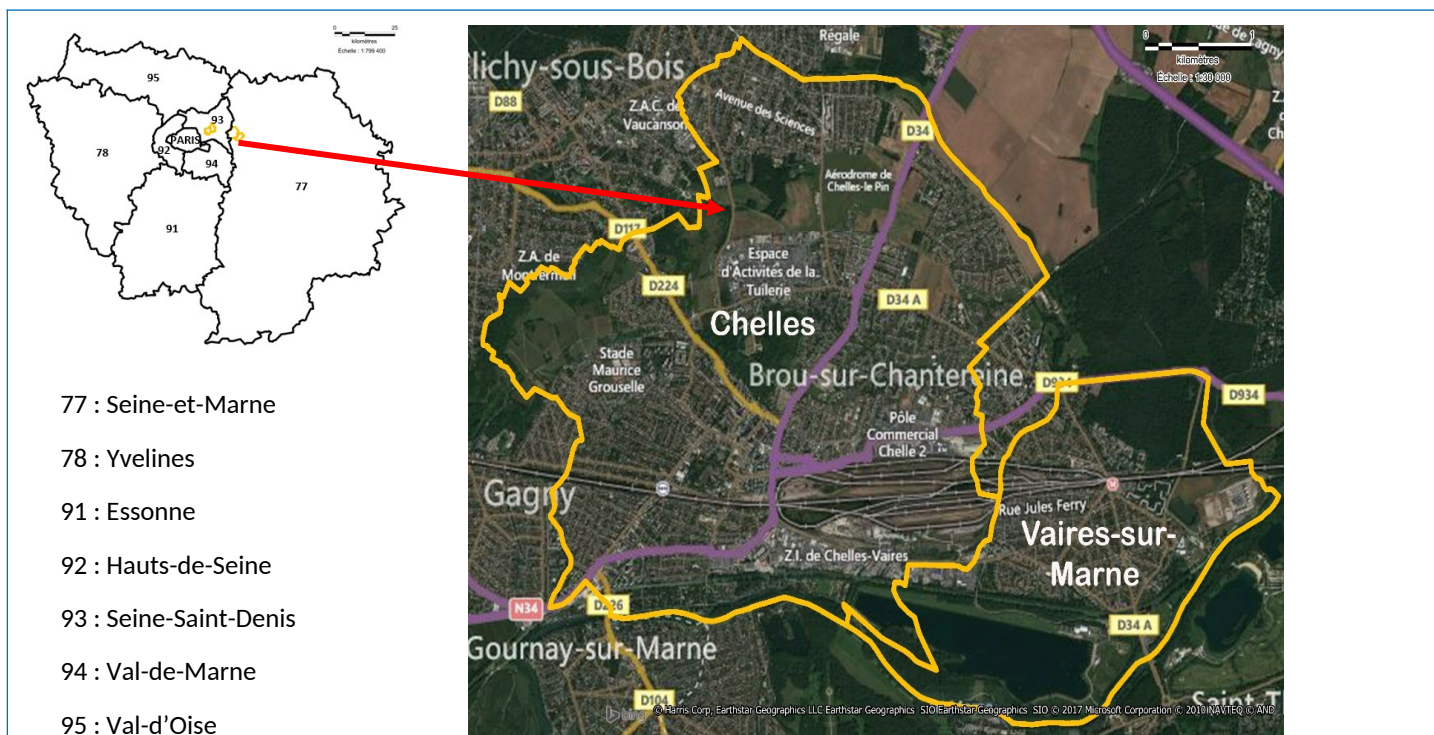


Les communes de Noisy-le-Sec et Bondy sont situées dans le Département de la Seine-Saint-Denis (93) en Région Ile-de-France.

Elles sont desservies par plusieurs lignes ferroviaires : trains de marchandises, trains de voyageurs, Transilien (RER), TER, Tramway et trains grandes lignes. Les autoroutes A3 et A86 ainsi que la nationale N186 viennent compléter le réseau terrestre et les couloirs aériens en provenance des deux aéroports (Charles-de-Gaulle et Le-Bourget) et le passage d'hélicoptères touristiques ajoute une source de bruit supplémentaire. Cependant, au sein de ce carrefour entre les axes de transports ferrés, routiers et aériens, le trafic ferroviaire représente une source de bruit prépondérante avec 1 000 trains quotidiens.

Sur le plan démographique, les deux communes forment un ensemble d'un peu moins de cent mille habitants (93 990) au recensement de 2014. Elles figurent parmi les communes les plus denses de la région Ile-de-France avec une densité de 8956 habitant par km² (Seine-St-Denis : 6651 ; Ile-de-France : 1001 habitant/km², INSEE, Recensement de la population en 2014).

Figure 1 : Localisation géographique et brève description des communes de Noisy-le-Sec et Bondy



77 : Seine-et-Marne

78 : Yvelines

91 : Essonne

92 : Hauts-de-Seine

93 : Seine-Saint-Denis

94 : Val-de-Marne

95 : Val-d'Oise

Les communes de Chelles et Vaires-sur-Marne sont situées dans le Département de la Seine-et-Marne (77), en Région Ile-de-France.

Elles sont desservies par plusieurs lignes ferroviaires comme les Transilien et RER ainsi que la ligne LGV Est-européenne (mise en service depuis 2007).

Le territoire est exposé à d'autres sources de bruit : routier, aérien et industriel. Cependant, ce sont les bruits routier et ferroviaire qui sont les plus présents. Mais le bruit ferroviaire est la source prépondérante le long des voies ferrées, avec une exposition de la population à un niveau élevé (plus de 65 dB(A)) (cas de Chelles, par exemple, Acouphen Environnement, 2008).

Comme à Noisy-le-Sec et Bondy, il s'agit également d'une zone urbaine dense. En effet, sur le plan démographique, les deux communes forment un ensemble de 66 736 habitants au recensement 2014, avec une densité de 3031 habitant par km² (Seine-et-Marne : 233 habitant/km² ; Ile-de-France : 1001 habitant/km², INSEE, Recensement de la population en 2014)

Figure 2 : Localisation géographique et brève description des communes de Chelles et Vaires-sur-Marne

Organisation du rapport

Le rapport s'organise de la manière suivante :

- La deuxième section porte sur les notions de murs antibruit ;
- La section 3 présente de façon générale la méthode des prix hédoniques ;
- Les sections 4 à 6 présentent les méthodes développées ainsi que les études de cas qui font l'objet de la présente recherche. Sont d'abord abordés les données et sources mobilisées (section 4), les modèles à estimer (section 5) avant de se focaliser sur les principaux résultats de l'application de la méthode (section 6) ;

- Enfin, la section 7 propose une méthode de calcul des bénéfices/coûts engendrés par les murs antibruit. La section 8 conclut et délivre quelques pistes de recommandations pour des futures recherches.

2. NOTIONS FONDAMENTALES À MOBILISER

Les murs antibruit ou écrans acoustiques sont installés le plus souvent le long d'une voie de circulation routière ou ferroviaire afin de diminuer le niveau des nuisances sonores que subissent les riverains.

Leur mise en place a pour objectif de diminuer l'impact des circulations en façade des bâtiments et ce, à travers différentes techniques en fonction de la configuration de la voie, du trafic et de la situation des bâtiments. Sur le plan acoustique, selon SNCF Réseau¹⁵, les murs antibruit peuvent réduire le niveau sonore jusqu'à 10 dB(A).

De nombreuses recherches se consacrent par ailleurs à l'évaluation de l'efficacité de ces murs antibruit du point de vue de leur perception par les riverains. Ces études sont basées soit sur des enquêtes menées en laboratoire, soit sur des enquêtes menées sur le terrain. Elles ont toutes mis en exergue l'influence d'autres facteurs, autres que les performances acoustiques, par exemple le risque d'insécurité ou encore l'effet esthétique (aspect visuel et paysager) des murs. Tous ces effets pourront engendrer un changement sur la valeur des biens immobiliers dans le quartier. L'objectif de cette section est donc de faire un tour d'horizon, sans visée exhaustive de ces études, afin de nous permettre d'implémenter une méthode d'évaluation robuste de l'effet des murs antibruit sur les valeurs immobilières. Avant de passer à cette présentation, il convient tout d'abord de comprendre quelques éléments essentiels relatifs à ces murs.

2.1. Généralités sur le mur antibruit¹⁶

Il existe plusieurs types de matériaux de murs antibruit : le métal, le béton, le bois et le plastique opaque qui peuvent être absorbants ou non absorbants ; le verre et le plastique transparent qui sont non absorbants. Leur efficacité dépend de nombreux facteurs, mais un mur ne permet pas de rendre le bruit du trafic complètement inaudible. En effet, l'efficacité d'un mur est déterminée par différents facteurs, par exemple : la distance entre la source et le mur, entre le mur et le récepteur ainsi que la hauteur du mur (plus il est haut, plus il est efficace) ; la hauteur tonale du son à atténuer ; les conditions météorologiques : vent, inversion de température ; les propriétés absorbantes¹⁷ du mur (un mur absorbant est plus efficace qu'un mur réfléchissant) ; le poids par mètre carré (densité) du mur ; la forme du mur ainsi que la position de la voie par rapport au niveau du sol environnant.

Il convient de noter que la végétation n'est pas efficace comme barrière antibruit. Toutefois, la plantation d'une végétation très dense permet d'obtenir une légère diminution du bruit. Selon les études, une bande de verdure peut par ailleurs constituer un mur visuel et avoir une influence psychologique positive sur les riverains. La végétation plantée le long d'un mur n'a quant à elle pas d'impact défavorable notable sur les propriétés antibruit de ce dernier, même si la végétation est plus haute que l'écran.

¹⁵ SNCF Réseau, *op. cit.*

¹⁶ Les informations présentées dans cette section proviennent du document intitulé : Les murs anti-bruit et les matériaux absorbants, Vademecum du bruit routier urbain, Volume 1, [En ligne]. http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f11_fr.pdf. [Consulté le 08/07/2017].

¹⁷ Une surface est dite absorbante lorsque l'énergie sonore incidente n'est pas réfléchiée, mais transformée en chaleur. L'absorption acoustique a notamment une grande importance lorsque des écrans antibruit sont placés de part et d'autre d'une route. L'absorption assurée par l'écran permet d'empêcher des réflexions de bruit répétées entre la source et l'écran. Un écran doté de propriétés d'absorption acoustique du côté de la route permet aux habitations situées de l'autre côté de ne pas subir de nuisances additionnelles dues aux réflexions du bruit du trafic sur l'écran. Source : Les murs anti-bruit et les matériaux absorbants, Vademecum du bruit routier urbain, Volume 1, [En ligne]. http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f11_fr.pdf, Consulté le 08/07/2017].

Enfin, si le mur protège efficacement les immeubles en contrebas, il reste sans effet pour les étages supérieurs des immeubles avoisinants. C'est pourquoi un mur est souvent combiné avec d'autres dispositifs, comme l'isolation acoustique de façade afin permettre aux étages élevés de bénéficier aussi de la réduction du bruit.

2.2. Perception de l'efficacité acoustique des écrans antibruit

En moyenne, les murs antibruit réduisent les niveaux sonores de 3 À 10 dB (A), selon leur conception et leur hauteur. Dans la pratique cependant, les murs antibruit ont une limite d'atténuation d'environ 20 dB(A) pour un mur simple et de 25 dB(A) pour un mur double (USDT, 2001 ; Arenas, 2008).

En termes de perception par l'oreille humaine, si une variation de 3 dB(A) est légèrement perceptible, une variation de 6 dB(A) est nettement perceptible. Une variation d'environ 10 dB(A) correspond à une sensation auditive de deux fois plus/moins fort et une variation de 20 dB(A) correspond à une sensation auditive de 4 fois plus/moins fort.

Cependant, parallèlement aux qualités techniques et acoustiques que présentent les murs antibruit, s'ajoute un élément essentiel : l'esthétique, qui peut être appréhendé du point de vue de l'intégration paysagère de ces dispositifs. Quatre paramètres jouent sur l'esthétique d'un écran : la couleur, la texture, la forme, et des éléments secondaires tels que les plantations et ornements, etc. Les plantations contribuent souvent à dissimuler, ou tout au moins à « adoucir » un écran antibruit – en béton, par exemple, qui semble dur et froid. Comme nous allons le voir dans la section suivante, l'aspect esthétique joue un rôle essentiel dans la perception par les riverains des murs antibruit pouvant donc aussi se traduire en termes d'effets sur les prix immobiliers.

2.3. Perception des effets non acoustiques des murs anti-bruit

Cette section fait un tour d'horizon, sans visée exhaustive, des études relatives à la perception des murs antibruit, qui ne se focalisent pas uniquement sur les effets acoustiques. Quatre études de cas sont évoquées en ce sens : Perfater (1980), Herman et al. (1997), Arenas (2008) et Viollon et Lavandier (2002).

Perfater (1980) a en effet réalisé une étude sur la perception des murs antibruit par les riverains. L'intérêt de cette étude réside dans le fait qu'elle évalue séparément les réponses des individus en fonction du type de matériaux utilisés pour la construction des murs. L'enquête a été menée autour de murs antibruit installés le long d'autoroutes aux Etats-Unis. Huit zones ont pu être analysées : deux zones adjacentes à des murs composés de bois et de béton, une zone adjacente à un mur composé de planches de bois, une zone adjacente à un mur en panneaux de bois, trois adjacentes à un mur métallique et une adjacente à un mur en béton. Les murs variaient entre 0,66 à 7,9m de hauteur et entre 627 à 2090m de largeur. Au total, 488 interviews, représentant 81% des 604 ménages vivant dans la zone de bruit supérieure à 70 dB(A) ont été administrées dans les huit sites. Les résultats de cette étude ont montré que pour les huit sites étudiés, 57% des personnes interviewées sont satisfaites des murs antibruit et un peu plus de la moitié ont ressenti une réduction du bruit. Ce sont les murs métalliques beiges qui sont considérés comme les plus satisfaisants et ceux en métal bleu et en béton qui apparaissent comme les moins satisfaisants (voir annexe 1 qui présente quelques résultats de l'enquête). C'est aussi dans la zone située au voisinage des murs en béton que l'on enregistre le plus faible pourcentage de personnes déclarant ressentir un grand effet du mur par rapport à la réduction du bruit (5% contre 32% pour le mur en métal beige). Du point de vue esthétique, les murs en planche de bois sont considérés comme les plus plaisants et ceux en

béton les moins plaisants, que ce soit du point de vue de l'autoroute ou de celui des maisons des riverains (voir tableau 1, ce résultat est d'ailleurs confirmé par une étude en laboratoire menée par Viollon & Lavandier (2002), présenté ci-dessous). Lorsque les gens ont été interrogés sur leur préférence par rapport à la mise en place des murs, il en ressort de nouveau une mauvaise position des murs en béton. En effet, la majorité des répondants dans cette zone (50%) préfèrent ne pas avoir de mur (contre 7% pour la première position (mur en métal beige)). L'enquête rapporte aussi que globalement, les murs antibruit sont considérés comme ayant beaucoup plus d'effets positifs que négatifs. C'est l'atténuation du bruit qui est considéré comme le principal effet positif des murs, dans trois des huit zones étudiées. En plus de l'atténuation du bruit, les personnes enquêtées ont déclaré que les murs augmentent les valeurs des biens immobiliers, améliorent l'environnement et la sécurité et renforcent l'intimité et l'isolation. Les effets négatifs perçus par les riverains incluent la dégradation de l'esthétique de la zone et la dépréciation des valeurs immobilières. Sur ce dernier point, le mur en béton occupe de nouveau la position la plus mauvaise car 21% de la population au voisinage de ce mur a déclaré que les murs font baisser les valeurs de leurs logements (contre 0%, 3% ou 3%, respectivement, pour les murs composés de bois et de béton, en métal beige et en métal bleue) (voir annexe 1). L'enquête rapporte par ailleurs qu'environ 23% des répondants ont déclaré avoir préféré une indemnité monétaire au lieu d'un mur antibruit. Enfin, une part significative des répondants indiquent que la végétation devrait être considérée à la fois comme une alternative et comme un atout supplémentaire au mur antibruit.

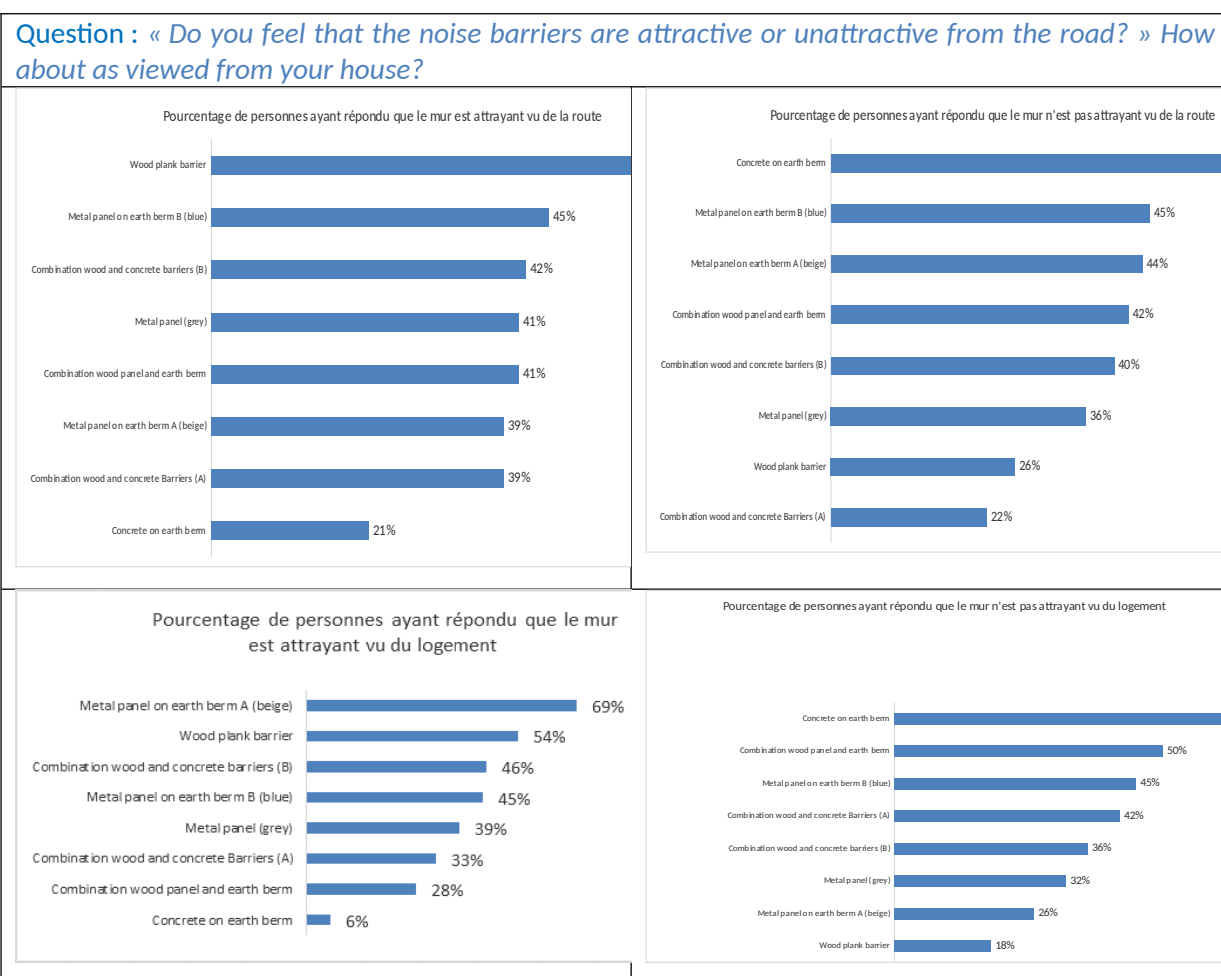


Tableau 1: Classement des différents types de murs antibruit (matériaux utilisés), selon l'appréciation de leur esthétique par les riverains.

Source : Élaboré à partir des résultats de l'étude de Perfater, 1980.

Herman et al. (1997) a mené une étude pour le Département de transports de l'Ohio (Etats-Unis), suite à l'achèvement du plus grand projet de réduction de bruit du trafic routier (autoroute I-71) en 1995. En effet, ce projet controversé avait fait l'objet d'un certain nombre de réticences des riverains par rapport à l'efficacité des murs antibruit. Une enquête d'opinion publique avait été menée afin d'appréhender la perception des murs antibruit par les résidents de la zone du projet. L'intérêt de cette étude résidait dans le fait qu'elle étudiait la perception des riverains selon la distance par rapport au mur et la configuration de ces murs. L'étude était basée sur une enquête téléphonique. La zone d'étude s'étendait sur environ 11,3km le long de l'autoroute. A la différence de la plupart des études, cette dernière ne se limitait pas à la première ou deuxième rangée d'habitations mais était élargie sur un corridor de 800m de part et de d'autre de la voie, subdivisé en plusieurs zones en fonction de la distance par rapport à l'autoroute. L'échantillon analysé couvrait 1200 individus équitablement répartis dans les différentes zones considérées. Les principales questions posées concernaient : 1) le changement de niveau de bruit perçu après la mise en place des murs antibruit (« Comment évaluez-vous le niveau de bruit dans votre lieu de résidence après la pose des murs ? » (augmenté, identique ou diminué) ; l'efficacité des murs antibruit (« Le mur antibruit est-il efficace dans la réduction du bruit ? (oui, non, par sûr) ») ; et 3) la satisfaction par rapport à l'apparence du mur. Cette étude avait conclu que :

- En fonction de la distance par rapport à l'autoroute, la proportion des répondants ayant une perception positive de la pose du mur antibruit varie d'un cinquième à un septième selon la zone. Ces répondants croient généralement que le mur antibruit est efficace dans la réduction du bruit et que celui-ci a amélioré la qualité de vie dans le voisinage.
- Les répondants vivant à proximité immédiate de l'autoroute sont généralement plus positifs dans leur évaluation des murs. Environ la moitié des résidents habitant à moins de 90m de l'autoroute ont émis des opinions positives sur l'utilité des murs. Le pourcentage des répondants ayant émis des opinions positives diminue rapidement avec la distance par rapport au mur : environ 40% dans la sous-zone entre 90 et 180m de l'autoroute et environ 25% dans la sous-zone entre 180 et 250m de l'autoroute.
- Environ deux tiers des résidents de l'échantillon a réagi négativement à la plupart des questions relatives à l'efficacité des murs antibruit. Les réponses négatives sont plus fréquentes au-delà d'une distance d'environ 180m de l'autoroute, où 60 à 80% des résidents réagissent négativement.
- La majorité des résidents qui déclarent que les murs antibruit ont fait augmenter le niveau de bruit vivent dans la sous-zone entre 180 et 270m de l'autoroute ainsi que dans celle entre 270 et 540m de l'autoroute. Dans la zone située au-delà de 540 m de l'autoroute, les répondants sont un peu moins susceptibles de percevoir une augmentation du niveau de bruit ou de considérer les barrières comme efficaces.
- Dans l'ensemble, l'analyse montre une forte corrélation statistique entre les réponses et la configuration des murs. Les résidents protégés par un mur isolé étaient beaucoup plus susceptibles de se prononcer favorablement sur l'efficacité des murs que ceux protégés par des murs parallèles à la voie ou ceux situés dans la zone en face de l'autoroute et du mur.
- La plupart des résidents de la zone d'étude sont insatisfaits de l'apparence des murs antibruit. La satisfaction à l'égard de l'apparence des murs est principalement limitée aux répondants vivant dans la zone située à moins de 180m du mur, où la perception de la réduction du niveau sonore apportée par le mur peut recouvrir l'insatisfaction vis-à-vis de l'apparence.

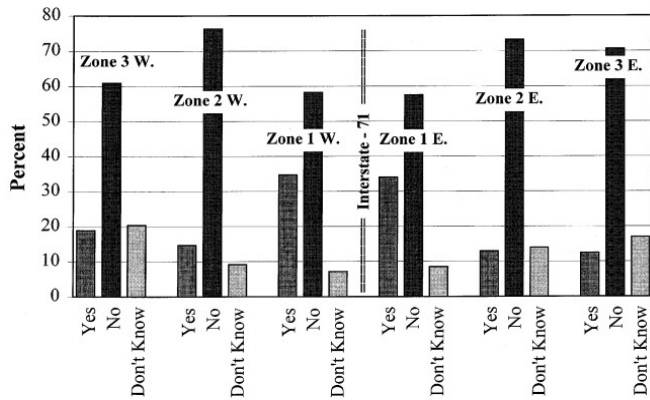


Figure 3: Residents' opinion of whether noise barrier benefits outweigh disadvantages, by zone.

Zone 1W.et 1E. = 0 - 270m
 Zone 2W. et 2E.=270 - 540m
 Zone 3W. et 3E.=540 - 800 m

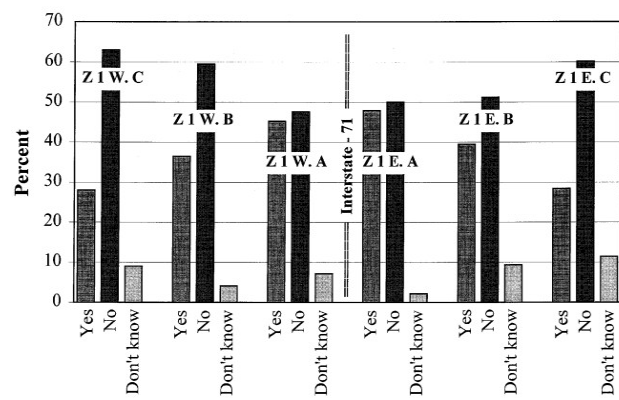


Figure 4: Residents' opinion of whether noise barrier benefits outweigh disadvantages, Zone 1 subzones.

Zone 1W.A et AE.B = 0-90m
 Zone 1W.B et 1E.C = 90-180 m
 Zone 1W.C et 1E.C = 180-270m

Source : Herman et al. (1997)

L'étude d'Arenas (2008) confirme que la pose de murs antibruit dans l'environnement peut avoir plusieurs effets à la fois positifs et négatifs sur les résidents vivant à proximité de ces structures (voir tableau 2). L'étude montre que l'amélioration des conditions du sommeil apparaît comme l'effet positif le plus apprécié des murs antibruit. D'autre part, la perte de lumière du soleil ainsi que la dominance visuelle ont été les impacts négatifs les plus cités par la communauté enquêtée. Les résidents ont perçu d'autres effets qui sont présentés dans le tableau suivant. L'étude conclut que les avantages des murs peuvent contrebalancer les inconvénients si l'on parvient à trouver un juste équilibre entre le fait de répondre aux besoins de réduction du bruit et de minimiser l'intrusion visuelle des murs sur l'environnement local.

Effects	No. of respondents	%
Positive		
Better sleeping conditions	78	62
Conversations in household are easier	54	43
Windows are opened more often	51	40
Increased privacy/feeling of safety	47	37
Cleaner air/reduced dust	34	27
Reduced volume when listening TV/radio	29	23
Others	39	31
Negative		
Loss of sunlight and lighting	83	66
Restriction of view/visual impact	72	57
Poor maintenance of the barrier	71	56
Restricted access to the other side	51	41
Loss of air circulation	36	29
Others	21	17

Tableau 2: Résultat de l'enquête pilote.

Source : Arenas, 2008

Enfin, des études en laboratoire ont été menées afin de mieux comprendre l'interaction audio-visuelle dans l'évaluation par les individus des effets des murs antibruit. Une étude dans ce domaine a été menée par Viollon et Lavandier (2002). Plus précisément, cette étude traite de l'influence de l'aspect visuel d'un mur antibruit sur l'impression auditive d'un bruit de trafic routier intercepté par cet écran. Elle est basée sur une expérience perceptive où les individus devaient juger exclusivement l'environnement sonore mais avec la consigne de s'imaginer que la source de bruit provenait de derrière le mur antibruit. Les murs antibruit de l'étude variaient suivant deux paramètres visuels contrôlés : le degré visuel d'agrément et l'impression visuelle d'efficacité du mur. Les échelles de jugement auditif étaient le niveau de stress sonore et le niveau sonore perçu. Les résultats montrent que l'apparence visuelle d'un mur influe sur la réaction auditive. L'impact de l'aspect visuel du mur acoustique sur l'impression auditive a une action globalement bénéfique, diminuant le niveau de stress perçu quand le degré visuel d'agrément augmente. En effet (voir figure 3), plus l'écran acoustique est visuellement plaisant, plus le stress ressenti à l'écoute des bruits de trafic routier diminue. Notons que cette influence visuelle ne s'est exercée que par rapport à un seul paramètre visuel prédominant : le degré visuel d'agrément (et non le degré visuel d'efficacité). Elle n'est pas fonction des bruits concernés. Les résultats de cette enquête nous permettent à nouveau de constater que le mur en béton est celui qui exerce le plus d'effet négatif parmi les différents types de murs.

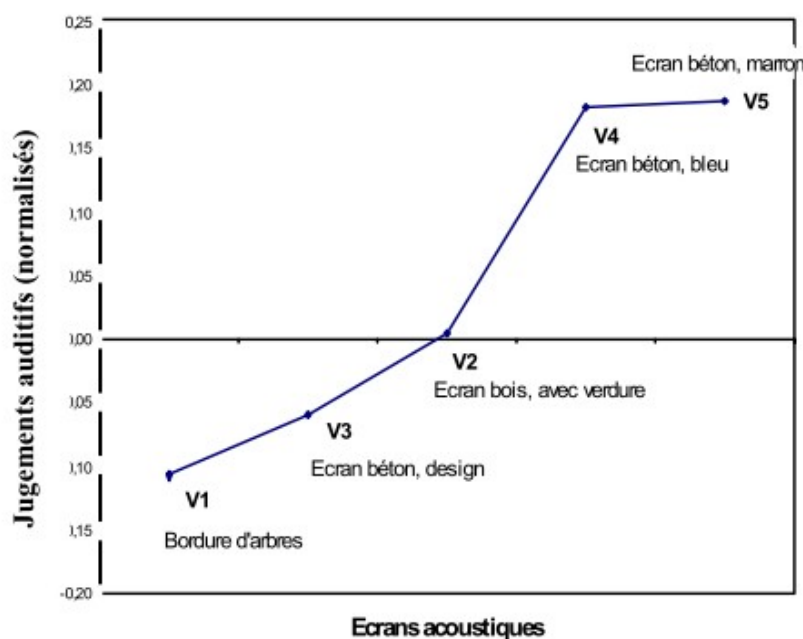


Figure 5: Effet principal du facteur visuel. Abscisses = écrans acoustiques ordonnés du jugement auditif du plus faible au plus élevé Ordonnées = jugements auditifs (normalisés).

Source : Viollon et Lavandier, 2002.

Conclusion

Nous retenons de ces revues des littératures que :

- Même si les murs peuvent efficacement lutter contre le bruit des trafics et ses conséquences sur la population (amélioration de la qualité du sommeil par exemple), les murs en eux-mêmes peuvent avoir des effets négatifs significatifs, en particulier l'effet esthétique (effet visuel et paysager) ;
- L'efficacité sonore perçue des murs antibruit est influencée par l'esthétique des murs ;
- D'un point de vue esthétique, si les individus sont satisfaits de certains types de murs comme ceux en bois, ils sont mécontents de l'apparence de certains murs, en particulier ceux en béton ;
- Une part significative des individus considèrent que la présence de végétation devrait améliorer l'apparence des murs antibruit ;
- L'efficacité des murs antibruit dépend de la distance par rapport à celui-ci ;
- Il existe une corrélation forte entre la perception des effets des murs et leur configuration.

Dans la suite du travail, il conviendra donc de prendre en compte les considérations suivantes :

- Les effets des murs sur les prix immobiliers doivent être appréhendés non seulement en fonction de leur efficacité acoustique mais également de leur aspect visuel et paysager ;
- Si les aspects visuels et paysagers des murs sont appréciés par la distance par rapport au mur, la construction de la variable distance devra être réalisée de la manière la plus fine possible afin d'éviter toute conclusion trompeuse ;
- La construction de cette variable devrait également prendre en compte la configuration, ainsi que la présence de végétation aux abords des murs.

Ces considérations seront utiles dans l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de l'effet des murs antibruit sur le prix immobilier, par la méthode des prix hédoniques.

3. LA MÉTHODE DES PRIX HÉDONIQUE POUR L'ÉVALUATION DES EFFETS DES MURS ANTIBRUIT

Parmi les méthodes utilisées par les économistes pour évaluer les CAP (CAR) des individus pour une amélioration (détérioration) de la qualité environnementale, la méthode des prix hédoniques occupe une place importante. Cette technique faisant partie des méthodes des « préférences révélées », également dites « fondées sur le marché », vise à s'appuyer sur les comportements effectivement observés sur les marchés réels, en particulier sur les achats qui y sont réalisés (en l'occurrence les achats de biens immobiliers), pour estimer la valeur des impacts non marchands. Pour reprendre la terminologie de Russel (2001 ; Pearce, 2006), ces méthodes s'efforcent de quantifier la « trace » laissée sur les marchés par les biens ou « nuisances » de nature non marchande. Cette section offre une vue d'ensemble des fondements théoriques de la MPH. Elle examine ensuite les principales difficultés de mise en œuvre de la méthode, difficultés pouvant porter aussi bien sur la vérification des hypothèses économiques sous-jacentes que sur la complexité empirique associée à cette méthode.

3.1. Présentation générale de la MPH

La méthode des prix hédoniques remonte au moins à Court (1939) et Griliches (1961). Lancaster (1966) et Rosen (1974) en ont établi les fondements conceptuels.

La méthode estime la valeur d'un bien non marchand en observant le comportement sur le marché d'un bien connexe. Elle se base en particulier sur les biens marchands au travers desquels les biens non marchands font l'objet de transactions implicites. La théorie de base se fonde sur la constatation que le prix d'un grand nombre de biens marchands est fonction d'une multiplicité de caractéristiques. Par exemple, il est ainsi possible que le prix d'une voiture dépende de son confort, de sa vitesse, de la puissance de son moteur, de sa couleur et de sa forme, etc. La MPH se sert de techniques économétriques pour isoler le prix implicite de chacune de ces caractéristiques.

Deux types de marchés présentent un intérêt particulier pour l'évaluation des biens non marchands : les marchés immobiliers et les marchés de l'emploi.

L'estimation de la valeur des changements du niveau de bruit est dérivée du prix hédonique du marché immobilier. Tout logement peut être décrit par ses qualités ou caractéristiques structurelles, telles que la surface, le nombre de pièces, son emplacement, son voisinage, ainsi que par ses aménités environnementales (bruit, pollution de l'air local, etc.). Le prix d'un logement est ainsi déterminé par un ensemble particulier de caractéristiques qu'il offre. Il en résulte que les biens immobiliers qui possèdent des caractéristiques désirables en plus grand nombre et de meilleures qualités atteignent des prix plus élevés que ceux qui présentent davantage de défauts.

Pour reprendre l'explication de Pearce et al. (2006), il est ainsi possible de supposer que la plupart des gens préfèrent habiter dans un quartier calme plutôt que dans un quartier bruyant. L'aménité que constitue le calme ne s'échange cependant pas sur aucun marché susceptible de nous fournir des éléments d'informations directes sur la valeur qui lui est attribuée à l'endroit considéré. Le calme peut cependant faire l'objet de transactions implicites sur le marché de l'immobilier. Les individus peuvent exprimer leur préférence pour le calme en achetant un logement non exposé au bruit. L'écart de prix entre logement plus calme et un autre plus bruyant - considérant par ailleurs qu'ils sont identiques - constitue donc une mesure de la valeur du calme.

Plus généralement, la MPH tente : 1) d'établir la part de l'environnement dans les différences de prix des biens immobiliers, et de 2) déterminer le coût d'une dégradation ou l'avantage de sa diminution, sous la forme de consentement à payer (CAP) pour cette caractéristique environnementale par les agents économiques sur le prix de l'immobilier.

Il faut pour ce faire réunir un grand nombre d'informations sur le prix et les caractéristiques des biens immobiliers de la zone à étudier et appliquer des techniques économétriques (régression multiple) pour estimer une « fonction de prix hédoniques ». Cette fonction indique le prix d'équilibre pour l'échantillon de logements considéré. Ce prix résulte de l'interaction entre les acquéreurs et les vendeurs sur le marché de l'immobilier en question. Si les caractéristiques que représentent les logements disponibles sur ce marché forment un quasi-continuum, on peut supposer que les acquéreurs feront en sorte de bénéficier de chacune d'elles à des degrés tels que leur prix implicite marginal soit tout juste égal à la valeur qu'ils leur accordent. La pente de la fonction de prix hédoniques pour chacune de ces caractéristiques indique donc quel est le prix implicite. Le prix implicite, par exemple du bruit, donne le montant en monnaie que les gens sont disposés à payer pour une réduction de cette nuisance.

La MPH a été appliquée dans divers contextes afin de déterminer la valeur de bien ou de nuisance de nature non marchand, tel que le bruit des transports (aérien, routier et ferroviaire), la pollution atmosphérique, la qualité de l'eau, la vue du paysage, le traitement paysager des friches industrielles, la couverture par l'autoroute ou encore mais très rarement les murs antibruit, etc.

Son principal intérêt tient au fait que, comme toutes les méthodes basées sur les préférences révélées, elle est fondée sur la décision effective des individus ou des ménages, contrairement aux méthodes basées sur les préférences déclarées, dans lesquelles il est demandé aux riverains enquêtés quelle serait la valeur hypothétique qu'ils attachent à certaine variation de l'offre de bien non marchand. C'est pourquoi, certains déduisent que les résultats obtenus au moyen de la MPH comme les autres méthodes fondées sur le marché constituent en principe le meilleur indicateur des préférences individuelles (Pearce et al. 2006). Par ailleurs, avec le développement récent du SIG (système d'information géographique), des traitements statistiques et des mesures de la qualité de l'environnement, l'approche hédonique permet d'analyser une large part du marché de logement, pouvant inclure des milliers d'observations, et fournissant ainsi des informations plus fiables que celles provenant des méthodes basées sur les enquêtes (par exemple la méthode d'évaluation contingente), limitées seulement à quelques centaines de ménages (Baranzini et al, 2008).

Comme toute méthode d'évaluation cependant, un certain nombre de problèmes peuvent être adressés à la MPH. Ces problèmes peuvent d'abord porter sur les hypothèses sous-jacentes (voir section 3.4). Par exemple, les ménages ou les individus pourraient en particulier ne pas être informés. Or, les dégâts ne sont traduits que dans la mesure où les personnes sont conscientes de changements potentiels et où elles sont capables de détecter les différences de bruit ou de pollution d'une zone à l'autre. Les procédures d'estimations fondées sur la MPH posent aussi des problèmes, incluant le choix de la forme fonctionnelle, la multi colinéarité, l'autocorrélation spatiale, etc. Les prix implicites sont sensibles à ces différents facteurs. Heureusement, une grande partie de ces problèmes sont surmontables grâce aux apports des recherches récentes, notamment du point de vue des statistiques spatiales et du SIG. Enfin, si la MPH offre probablement le meilleur moyen d'évaluer monétairement le bruit et la présence des murs antibruit, c'est aussi celle qui exige le plus grand nombre de données. Elle exige ainsi du temps et des efforts. Ce qui importe sans doute le plus est la collecte de données sur les prix et les caractéristiques détaillées afin de construire un

23

échantillon représentatif des marchés. Néanmoins, dans certains pays comme la France, les données déjà collectées par les services statistiques de différentes instances se prêtent tout à fait à l'analyse hédonique. Certes, une collecte de données spéciale ou l'acquisition de données secondaires peuvent être nécessaires mais là encore, le SIG peut apporter des solutions.

3.2. Démarche de mise en œuvre de la MPH

On part de l'hypothèse que le prix P_n d'un bien immobilier est fonction d'un nombre fixe de caractéristiques mesurées par des quantités.

$$P_n = f(S_n, V_n, A_n, E_n, \varepsilon_n) \quad (\text{Fonction de prix hédonique})$$

où S_n représente un ensemble de caractéristiques structurelles ou intrinsèques du logement (nombre de pièces, nombre de salle de bain, etc.) ; V_n représente un ensemble caractéristiques de voisinage (niveau socio-économique du voisinage, taux de délinquance, etc.) ; A_n regroupe les paramètres décrivant les conditions d'accessibilité (commerces, existence de moyens de transport public, etc.), et E_n représente les caractéristiques de l'environnement physique (niveau de pollution, de bruit, présence d'espace vert etc.) et ε_n est un terme d'erreur aléatoire.

La démarche proposée par Rosen (1974) comporte deux grandes étapes.

- La première vise à donner une estimation du prix implicite de chacune des caractéristiques et comporte trois tâches (Lambert, 2005) :
 - La collecte de données sur les prix et les caractéristiques des logements. Une partie de ces données peut être collectée auprès des services statistiques de différentes instances. C'est généralement le cas des données sur les prix et les caractéristiques structurelles des logements. Mais il est rare que ces données contiennent des renseignements sur les caractéristiques de localisation du logement. Il est généralement nécessaire de construire ces variables, soit à partir de relevés sur le terrain, soit à partir d'un système d'information géographique si les données sont géo-référencées ;
 - Le choix d'une fonction des prix implicites : la forme de la fonction f n'est pas neutre. Si on choisit une fonction linéaire, alors tout changement unitaire des variables influe d'un montant égal sur le prix du bien immobilier. Si la fonction est concave, alors les prix immobiliers baissent de plus en plus vite au fur et à mesure que les variables d'environnement augmentent. On obtient le résultat inverse si la relation est convexe ;
 - L'estimation de la fonction de prix hédonique qui permet de déterminer le prix, établi sur la base des variables issues de la collecte : une variable dépendante (le prix de l'habitation) et des variables supposées indépendantes concernant les caractéristiques des habitations. Les coefficients obtenus permettent de calculer les prix implicites marginaux pour chacune des caractéristiques. Le prix implicite marginal d'une caractéristique représente l'augmentation des dépenses qu'il faut réaliser pour obtenir une unité supplémentaire de cette caractéristique, toutes choses égales par ailleurs. Autrement dit, le prix implicite marginal d'une variable environnementale E_h , représente le CAP pour bénéficier d'une amélioration marginale de la qualité de l'environnement. Le prix implicite marginal est obtenu en

calculant la dérivée partielle de la fonction de prix par rapport à la i - ème caractéristique :

$$a_n = \frac{\partial P_n}{\partial E_n} \quad (\text{Prix implicite})$$

- La seconde étape consiste en l'estimation de la fonction de demande, ou fonction de CAP des occupants. On procède alors à une régression de a_n sur les caractéristiques des ménages (niveau de revenu par exemple) et sur les niveaux de pollution sonore. On peut alors calculer l'élasticité-revenu et prix propre à la caractéristique. Cette étape est cependant rarement menée en pratique. Cela semble justifié lorsque les externalités sont localisées et affectent une faible proportion du marché immobilier. En effet, Palmquist (1992) montre que le consentement à payer pour un changement environnemental peut être déterminé à partir de l'estimation du modèle hédonique dans le cas d'une externalité localisée. Une externalité localisée affecte seulement un petit nombre de propriétés dans le marché, de sorte que l'équation de prix d'équilibre n'est pas modifiée par le changement. En revanche, si le changement environnemental n'est pas localisé, le prix d'équilibre est modifié suite à la politique mise en œuvre. L'estimation de la seconde étape est alors nécessaire pour déterminer un consentement à payer non marginal. Le bruit des transports est considéré comme une externalité localisée si bien que dans la plupart des études menées dans ce domaine, seule l'estimation de la première étape est menée (Navrud, 2002, Nelson, 2008).

3.3. Récapitulatif des résultats études hédoniques récentes sur le bruit ferroviaire

Le tableau 3 récapitule les principales études de prix hédoniques menées dans le cadre de l'évaluation du bruit ferroviaire. Nous n'avons repéré aucune étude similaire sur données françaises.

Author(s)	Location	Data info	Noise variable	Threshold value	Functional form	Method	Depreciation per dB
Andersson et al. (2015)	Lerum , Sweden	1996 - 2002 (N=2575)	LAeq (LAmix - LAeq) LAeq* (LAmix - LAeq)	?	Log-log	OLS & Spatial Lag (R ² = 0,675)	LAeq = 574 € LAmix = 466 €
Chang & Kim (2013)	Seoul, Korea	N=925	LAeq	?	Semi-log	OLS (R ² =0,864)	0,53 %
Pan (2012)	Houston, Texas	2007 (N = 36 622)	Distance to noise source	-	-	OLS & Multilevel regression	(-) effect <1/4 mile proximity (+) effect >1/4 mile
Andersson et al. (2009)	Lerun, Sweden	1996 - 2006 (N = 1034)	LAeq,24h	50 dB(A)	Semi-log	OLS & Spatial Lag (R ² = 0,51- 0,58)	Road = 1,15%
				55 dB(A)			Road = 1,69%
Dekkers & van der Straaten (2009)	Amsterdam, Netherlands	1999 - 2003 (N = 66 000)	Lden	60 dB(A)	Semi-log	OLS & Spatial lag (R ² = 0,83)	Aircraft = 0,77% Rail = 0,67% Road = 0,16%
Day, et al. (2007)	Birmingham, UK	1997 (N = 10 848)	LAeq	55 dB(A)	Log-log	OLS with Spatial smoothing (R ² = 0,56 - 0,89)	Aircraft = 0,63 to 1,6%, Rail = 0,67% Road = 0,18 to 0,55%

Tableau 3: Récapitulatif des études de prix hédoniques récentes sur le bruit ferroviaire

Source : Les auteurs

En ce qui concerne les principaux éléments susceptibles de nous intéresser dans cette revue comparative, on notera que :

- Les études mobilisent un nombre important de données sur les transactions immobilières ; minimum 925 et maximum 66 000 observations ;
- Concernant la mesure de la variable niveau de bruit ferroviaire, deux pratiques sont rencontrées :
 - 1) l'utilisation d'une variable mesurant l'état de l'environnement sonore c'est-à-dire le niveau de bruit exprimé en décibel pondéré A ou dB(A) (par exemple Andersson, et al. (2009), Chang & Kim (2013), Dekkers & Van der Straaten (2009), Day, et al. (2007)). L'indice de bruit utilisé correspond généralement à celui en pratique dans les pays étudiés : le LAeq, le LAmax ou le LDEN
 - 2) et plus rarement, l'utilisation de la variable distance du logement par rapport à la voie ferroviaire comme proxy à la variable niveau de bruit lorsque celle-ci n'est pas disponible (exemple Pan (2012), Strand et Vågnes (2001)) ;
- La variable bruit est souvent spécifiée sous forme de variable binaire ;
- Une difficulté spécifique à l'application de la MPH pour l'évaluation du bruit concerne le choix du niveau de bruit à partir duquel on considère qu'il y a dépréciation. Certaines études ignorent le niveau de bruit de fond et le traite implicitement comme la valeur zéro. D'autres considèrent ce seuil à 50 - 55 dB(A), voire un peu moins (Dekkers & Van Der Straaten, 2009). Dans le cas du bruit ferroviaire, le seuil considéré varie entre 50-60 dB(A) ;

La forme fonctionnelle est souvent semi-log ou log-log. Ces deux formes conduisent à des résultats convergents.

- En ce qui concerne les principaux résultats, on notera que toutes les études ont trouvé un effet négatif du bruit ferroviaire sur le prix immobilier. Les résultats sont souvent exprimés sous forme d'un indicateur appelé NDSI ou pourcentage de dépréciation par décibel (Walters, 1975 ; Nelson, 1980), à l'aide de la formule suivante :

$$NDSI = \text{Différence de prix en pourcentage} / \text{Différence de niveau de bruit}$$

Les études relatives au bruit ferroviaire évaluent le NDSI entre 0,34 et 0,72% par décibel.

Il convient de noter que les études relatives aux murs antibruit sont rares et à notre connaissance, inexistantes dans le domaine du ferroviaire. Les quelques études que nous avons recensées concernent les performances de dispositifs de protection vis-à-vis de réseaux autoroutiers. Parmi ces études, on peut citer Julien et Lanoie, 2007 ; Nakakeeto et al, 2016. La première étude (Julien et Lanoie, 2007) est basée sur la méthode des ventes répétées. La variable utilisée est la distance par rapport au mur. Les résultats montrent que la présence de mur antibruit engendre une baisse du prix des maisons, de 6% à court terme et une diminution de 11% à long terme. L'étude de Nakakeeto et al. (2016) est basée sur deux méthodes : la méthode des prix hédoniques et une méthode de prix hédoniques modifiée dans une expérience quasi-aléatoire. La méthode des prix hédoniques modifiée montre des résultats inverses par rapport à ceux trouvés par Julien et Lanoie (2007) : en moyenne, les murs antibruit font augmenter le prix des maisons de 15,24% lorsque les maisons sont situées à moins de 300 mètres du mur. Cet impact diminue à mesure que la distance par rapport au mur augmente. Pour les maisons situées entre 300 et 600 mètres des murs antibruit, l'augmentation du prix est estimée à 6,96%.

Les sections suivantes passent en revue les difficultés pouvant être rencontrées lors de la mise en œuvre empirique de la méthode des prix hédoniques.

3.4. Difficultés méthodologiques liées à la mise en œuvre de la MPH et les moyens permettant de les surmonter

Comme on l'a déjà signalé plus haut, de nombreuses difficultés apparaissent lorsque l'on a recours à ce type de technique d'évaluation. Des difficultés d'ordre théorique, économétrique et méthodologique.

3.4.1. Difficultés théoriques

De nombreuses hypothèses sont retenues implicitement par la méthode des prix hédoniques. Elles sont résumées comme suit (Lambert, 2005) :

- le marché immobilier est homogène (non segmenté), fluide (ce qui est rarement le cas) ;
- le prix des habitations est fonction de leurs caractéristiques, connues par les acheteurs qui par ailleurs ont un large choix sur ce marché (grande différenciation entre les logements du point de vue de leurs caractéristiques, dont le niveau d'exposition au bruit) ;
- les coûts d'information et de transaction sont nuls ;
- les résidents ont une connaissance parfaite des effets du bruit et tiennent compte de ces effets lorsqu'ils choisissent leur habitation ;
- les résidents évaluent de la même façon les caractéristiques des habitations (fonction d'utilité identique).

3.4.2. Difficultés économétriques

Multicolinéarité

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.

Dans sa version la plus extrême (rarement rencontrée en pratique), la colinéarité se traduit par l'impossibilité d'estimer les paramètres de la régression par la méthode des moindres carrés. Dans une version plus courante, la colinéarité se traduit par des estimations imprécises des paramètres et par des écarts-types élevés ; les coefficients deviennent instables (Terra, 2005).

Il est difficile de prédire a priori l'effet que cela aura sur les prix implicites des caractéristiques. La multicolinéarité peut ne pas poser trop de problèmes dans certains cas. Par exemple, si l'on est moins intéressé par les valeurs des paramètres que par les prévisions de prix, le problème de la multicolinéarité ne devrait pas être trop aigu. Il est préférable, dans ce cas, d'inclure une variable pertinente, au risque de créer un problème de multicolinéarité, son exclusion conduisant à un biais d'omission de variables (Eurostat, 2013). Mais quand les valeurs des paramètres sont intéressantes en tant que telles, la multicolinéarité pose alors problème. Il n'existe pas de « bonne façon » de traiter les problèmes de colinéarité. Une première solution consiste à ne pas essayer de corriger la colinéarité. Ceci pourrait être justifié si la variable de qualité environnementale, 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, mais cela n'affectera vraisemblablement pas l'estimation du paramètre d'intérêt et donc du prix implicite. D'autres solutions sont proposées

dans les manuels d'économétries mais aucune solution ne semble parfaite. Une de ces solutions est d'utiliser un petit nombre de composantes principales issues d'une analyse en composantes principales sur les variables explicatives. La colinéarité disparaît puisque, par construction, les composantes principales sont orthogonales les unes aux 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 (Terra, 2005).

Hétéroscédasticité

D'autres problèmes économétriques, comme l'hétéroscédasticité sont fréquents, mais ce problème n'est pas spécifique à la méthode des prix hédoniques. La présence d'hétéroscédasticité a pour conséquence que les estimateurs des MCO (Moindres Carrés Ordinaires) restent sans biais, mais ne sont plus de variance minimale. Ceci pose problème notamment parce que cela affecte la précision des tests.

L'Hétéroscédasticité peut avoir plusieurs sources, notamment : l'hétérogénéité de l'échantillon considéré, l'oubli d'une variable explicative, une mauvaise transformation des variables et/ou une mauvaise forme fonctionnelle.

En règle générale, il est donc pertinent de tester la présence d'hétéroscédasticité. On peut dans ce cas utiliser le test de White (1980). Alternativement, des tests plus puissants peuvent être utilisés lorsque la forme de l'hétéroscédasticité est correctement spécifiée, par exemple : le test de Breusch-Pagan (1979).

Si le problème existe, une des solutions peut être, l'utilisation dans les inférences sur les coefficients estimés, de la matrice de la matrice de White robuste à l'hétéroscédasticité.

Endogénéité

Un autre problème, mais assez peu exploré dans la mise en œuvre de la MPH, est celui qui concerne l'éventuel endogénéité entre les variables explicatives et le prix des logements (par exemple Travers et al. (2008), Cavailhès (2005)). Selon Cavailhès (2005), cette endogénéité est, le plus souvent, une conséquence de la non linéarité de la contrainte budgétaire qui conduit le consommateur à choisir simultanément le prix du logement et la quantité de certains attributs (par exemple la surface habitable et le prix du logement). Il en résulte que la variable explicative 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 (Mignon, 2008 ; Lollivier, 2006). Selon les études, le risque d'endogénéité peut concerner aussi bien les variables relatives aux caractéristiques intrinsèques des logements (surface, nombre des pièces) que celles relatives aux aménités environnementales (par exemple la distance à la mer, un point de vue agréable sur la mer) (Travers et al., 2008 ; Cavailhès, 2005).

Le traitement de l'endogénéité des variables explicatives est maintenant bien établi lorsque la variable expliquée comme la variable explicative sont continues (méthode des doubles moindres carrés). La difficulté dans la pratique consiste seulement à trouver des variables instrumentales adéquates (Lollivier 2001).

Cependant, lorsque la variable explicative ou bien expliquée est qualitative, la résolution du modèle simultané est alors beaucoup plus délicate. Heckman (1978) a ainsi présenté une formalisation générale permettant de traiter le problème d'endogénéité lorsque la variable expliquée est continue et la variable explicative dichotomique (comme dans nos cas). Il est en effet possible d'avoir recours

à une procédure en deux étapes, la première consistant en l'estimation d'un modèle « Probit » portant sur la variable qualitative suspecte d'endogénéité, la seconde en une régression linéaire augmentée d'un terme issu de la première étape. L'estimateur des moindres carrés ordinaires portant sur cette régression est alors convergent et asymptotiquement normal (Lollivier, 2001). La complication pratique consiste seulement à réaliser de façon rigoureuse le test permettant de conclure ou non à l'endogénéité, le matrice de variance-covariance des estimateurs n'étant pas celle qui ressort de l'estimation des moindres carrés ordinaires, en raison de l'hétéroscédasticité du terme d'erreur présent dans cette régression augmentée (Lollivier, 2001).

Dépendance spatiale

L'autocorrélation spatiale des erreurs provient de plusieurs sources, notamment l'existence d'un lien entre le prix d'un logement et le prix observé des autres logements se situant dans son voisinage (Can, 1992) et /ou l'existence de variables omises présentant une configuration spatiale (Le Gallo, 2000). Ne pas prendre en compte une telle autocorrélation dans les estimations conduit à des valeurs biaisées et non convergentes des paramètres de la fonction de prix hédoniques.

La prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les modèles des prix hédoniques constitue aujourd'hui un thème de recherche actif, après avoir longtemps été ignoré, compte tenu de la complexité des procédures d'estimations et de la non-disponibilité d'une base de données géo-référencée (contenant des coordonnées X et Y de chaque transaction). Des auteurs comme Can (1992), Can et Megbolubs (1997) ont développé et appliqué les connaissances en économétrie spatiale dans le modèle des prix hédoniques. Les études hédoniques les plus récentes tentent de prendre en compte ce problème (citons en exemple : R. Dubin (1992), M. Salvi (2003), J.P. Cohen & C.C. Coughlin (2006), Dekkers et Willemijn van der Straaten (2009), etc.).

La détection et la correction du problème d'autocorrélation spatiale nécessitent le recours à des techniques économétriques plus avancées et ne peuvent s'effectuer que si les données disponibles sont géo-référencées.

L'autocorrélation spatiale est formalisée à partir de la « matrice de poids » qui donne lieu à des coefficients d'autocorrélation détectant la présence de la dépendance spatiale. Il y a deux coefficients de mesure de l'autocorrélation spatiale : celui de Geary, s'inspirant du test de Durbin-Watson et celui de Moran qui est basée en partie sur l'équation de corrélation. Le test de Moran (1948) est le plus utilisé (voir encadré 1).

Lorsque l'autocorrélation spatiale est détectée, une bonne spécification du modèle par le rajout de variables de localisation supplémentaire peut parfois résoudre le problème. Cependant, si cette solution ne s'avère pas efficace, il faut le prendre en compte dans le modèle économétrique.

La prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les modèles économétriques peut s'effectuer : soit par un modèle autorégressif spatial ou SLD (*spatial-lag-model*) (prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les variables explicatives), soit par un modèle avec autocorrélation spatiale des erreurs ou SED (*spatial-error-model*) (prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans les résidus). L'estimation de ces modèles nécessite des méthodes d'inférence adaptées. Les méthodes d'estimation les plus utilisées sont la méthode du maximum de vraisemblance, la méthode des variables instrumentales ou celles des moments généralisés. Les méthodes d'inférences, en général basées sur le principe du maximum de vraisemblance, servent à tester la présence de l'autocorrélation spatiale dans les modèles et à déterminer la forme de cette dernière. La démarche

de mise en œuvre de la régression spatiale peut notamment être trouvée dans l'article de Le Gallo (2000) résumé dans l'encadré 2 ci-dessous.

Une autre méthode plus simple mais encore rarement menée, pour prendre en compte l'autocorrélation spatiale dans le modèle hédonique, consiste à inclure les coordonnées géographiques x et y comme variable explicative du modèle. Cela peut être effectué de façon paramétrique ou non paramétrique en recourant par exemple à des splines comme l'ont montré Hill, Melser et Reid (2010). Nous renvoyons le lecteur à Hill (2011) pour une analyse poussée et un inventaire des travaux publiés sur la dépendance spatiale, l'utilisation des données géospatiales ainsi que sur l'estimation non paramétrique.

Notons que l'un des avantages de la prise en compte explicite de la dépendance spatiale est qu'elle permet de contribuer à résoudre le problème que pose l'omission de variables de localisation.

1) Matrice de poids et variables spatiales décalées

Pour capter l'interdépendance entre régions, il faut considérer leurs positions relatives. Pour cela, on doit spécifier de manière exogène la topologie du système spatial en construisant une matrice de poids. Cette matrice est une matrice carrée, ayant autant de lignes et de colonnes qu'il y a de zones géographiques (on note N le nombre de régions), où chaque terme w_{ij} représente la façon dont la région i et la région j sont connectées spatialement.

Les matrices les plus utilisées sont les *matrices de contiguïté*. La contiguïté entre deux régions se définit par le fait qu'elles ont une frontière commune et chaque terme de cette matrice est égal à 1 si les régions sont contiguës à l'ordre 1 et 0 sinon (par convention, une région n'est pas contiguë avec elle-même : $w_{ii} = 0, \forall i$). Cette notion de contiguïté peut être généralisée : deux régions i et j sont contiguës à l'ordre k si k est le nombre *minimal* de frontières à traverser pour aller de i à j .

Ces matrices de contiguïté sont souvent utilisées en raison de leur simplicité mais apparaissent restrictives pour ce qui est de leur définition de la connexion spatiale entre régions. Une autre possibilité consiste à utiliser des *matrices de distance*. On suppose dans ce cas que l'intensité de l'interaction entre deux régions i et j dépend de la distance entre les centroïdes de ces régions. Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés selon la définition de la distance : distance à vol d'oiseau, distance par routes ou généralisation aux temps de transport ou à des indices d'accessibilité.

Diverses spécifications sont également disponibles, les plus utilisées étant la fonction exponentielle négative (1) ou une fonction de l'inverse de la distance (2). Si d_{ij} désigne la distance entre la région i et la région j , les éléments de la matrice de distance pour ces deux cas sont définis par :

$$(1) w_{ij} = e^{-\alpha d_{ij}}$$

Les matrices de poids sont souvent standardisées : chaque élément w_{ij} de la matrice est divisé par la somme totale de la ligne $\sum_j w_{ij}$. Les poids sont alors compris entre 0 et 1 et cette opération rend les paramètres spatiaux comparables entre les modèles économétriques.

L'interprétation des poids est également modifiée. Par exemple, dans le cas d'une matrice de distance, standardiser la matrice de poids signifie qu'on suppose que la connexion entre deux régions dépend de la distance *relative* entre elles et non plus de la distance *absolue*.

On définit enfin la *variable spatiale décalée* ("*spatial lag*"), qui pour N régions est associée à la matrice de poids W et la variable aléatoire x , qui est définie par le vecteur $(N, 1) : Wx$. Lorsque W est une matrice standardisée, l' i ème élément de la variable spatiale décalée contient la moyenne pondérée des observations des régions voisines à la région i . Cette variable joue un rôle primordial dans la spécification des modèles économétriques spatiaux

2) Le test de Moran

Le test de Moran (1948) s'écrit formellement de la façon suivante :

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S_0} / \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

$$\text{Avec } S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij} \text{ et } \bar{x} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_i x_i$$

Le numérateur s'interprète comme la covariance entre les unités contiguës, chaque contiguïté étant pondérée par w_{ij}/S_0 . Elle est normalisée par le dénominateur qui est la variance totale observée.

Les valeurs attendues pour les grands échantillons varient entre -1,00 et +1,00 ; l'absence d'autocorrélation tend vers zéro. Une autocorrélation spatiale positive est une valeur supérieure à 0 et une autocorrélation négative est représentée par une valeur inférieure à zéro. Le

$(2) w_{ij} = \begin{cases} d_{ij}^{-\beta} & \text{si } d_{ij} < \bar{d} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ <p>α et β sont des paramètres déterminés <i>a priori</i>, \bar{d} est la valeur seuil au-delà de laquelle on suppose que les régions i et j ne sont pas connectées.</p>	<p>coefficient β est sensible aux valeurs extrêmes.</p> <p>Sous l'hypothèse nulle (H_0), I se rapproche d'une distribution normale quand la taille de l'échantillon augmente. Pour tester la signification du coefficient, on peut utiliser le test « t » de Student ou les tester comme des valeurs centrées réduites (Cliff et Ord, 1973).</p>
<p><i>Encadré 1: Matrice de poids et test de Moran</i></p> <p>Source : Les auteurs, d'après Le-Gallo, 2000</p>	

<p>1. La première étape consiste à estimer le modèle simple par la méthode des MCO et à effectuer le test de Moran (et le test SARMA : test joint de présence d'autocorrélation des erreurs et d'une variable autorégressive). Le rejet de l'hypothèse nulle indique une mauvaise spécification du modèle ou une omission de l'autocorrélation spatiale. Les tests LMEER et MLLAG et leurs versions robustes permettent de spécifier la forme de l'autocorrélation spatiale.</p>
<p>2. Si les résultats des tests indiquent une présence de dépendance spatiale, il est souvent utile de commencer par inclure dans le modèle, si possible, des variables supplémentaires. Il peut s'agir des variables exogènes supplémentaires qui sont susceptibles d'éliminer la dépendance spatiale (si cette dernière provient d'une mauvaise spécification) ou des variables exogènes décalées spatialement (Florax et Folmer, 1992).</p>
<p>3. Si l'ajout de variables exogènes supplémentaires n'a pas éliminé l'autocorrélation spatiale, il faut alors estimer un modèle incorporant une variable autorégressive ou une autocorrélation des erreurs. Le choix entre ces deux formes de dépendance spatiale en comparant les niveaux de significativité des tests de Lagrange s'effectue selon les valeurs relatives des tests du multiplicateur de Lagrange LMEER, LMLAC et leurs versions robustes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si l'on ne considère que le LMEER et LMLAC, Anselin et Rey (1991) et Florax et Folmer (1992) proposent de choisir l'une ou l'autre forme fonctionnelle ou en appliquant la règle de décision simple suivante : • Si le test du modèle autodégressif n'aboutit pas au rejet d'une hypothèse nulle, alors que le test de l'autocorrélation des erreurs rejette l'hypothèse nulle, ou si les deux tests aboutissent au rejet de l'hypothèse nulle et que le deuxième test est plus significatif que le premier, on choisit le modèle avec autocorrélation des erreurs. • Si le test du modèle autodégressif aboutit au rejet de l'hypothèse nulle, ou si les deux tests aboutissent au rejet de l'hypothèse nulle et que le premier test est plus significatif que le test de l'autocorrélation des erreurs, alors, on choisit le modèle autodégressif. • Anselin et Florax (1995) affinent cette règle de décision en la complétant par l'utilisation des tests robustes : si le LMLAC est plus significatif que le LMEER et RLMLAG est significatif mais pas RLMEER, on inclut une variable endogène décalée. D'une façon similaire, la présence d'une autocorrélation des erreurs peut être identifiée à travers RLMEER. Dans ce dernier cas, le test du facteur commun doit encore être effectué pour vérifier que le modèle avec autocorrélation des erreurs est le meilleur.
<p>4. Une fois que le modèle spatial adéquat a été estimé, trois tests supplémentaires peuvent être mobilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour un modèle autodégressif, le test de LMEER permet de savoir si une autocorrélation spatiale des erreurs est encore nécessaire. • Pour un modèle avec autocorrélation des erreurs, le test de LMLAG permet de savoir si une variable endogène décalée est encore nécessaire.
<p>5. Si plusieurs modèles restent encore en compétition, le test J sert à comparer des modèles spatiaux comportant des matrices de poids différents.</p>

Encadré 2 : Les différents tests de spécification permettant de choisir la meilleure spécification d'un modèle spatial.

Source : Les auteurs, d'après Le Gallo, 2000, p.35-36

3.4.3. Difficultés méthodologiques

Le choix de la forme fonctionnelle

Ces difficultés résident tout d'abord dans le choix de la fonction reliant le prix des biens immobiliers (variable à expliquer) et les attributs ou caractéristiques du logement (variables explicatives).

En effet, la méthode des prix hédoniques ne fournit pas d'argument théorique permettant de choisir telle ou telle spécification. Ceci laisse donc le choix de la forme fonctionnelle appropriée au modélisateur. Plusieurs formes fonctionnelles sont disponibles : linéaire, semi-log, log-log et la transformation de Box-Cox.

Terra (2005) a effectué une revue de la littérature sur le choix de la forme fonctionnelle. Dans les études sur les prix immobiliers, il apparaît que la forme fonctionnelle linéaire est trop restrictive, ce qui conduit souvent à la rejeter en faveur d'une transformation de Box-Cox. Comme l'indique Terra (2005), le choix de la forme fonctionnelle dépend de manière cruciale de la possibilité d'observer tous les attributs du bien. Parmi six formes fonctionnelles différentes, Cropper et al. montrent que le modèle Box-Cox linéaire et le modèle Box-Cox quadratique fournissent la plus petite erreur dans l'estimation des prix marginaux des caractéristiques en cas d'observabilité parfaite des attributs. Dans le cas contraire, les formes fonctionnelles linéaires et Box-Cox linéaire fournissent l'erreur la plus faible.

La forme linéaire pose également le problème suivant : une variation de 1 dB(A) engendre les mêmes effets sur le prix quel que soit le niveau sonore initial (voir Taylor (2003)). Or, les prix implicites ne sont sans doute pas constants. Signalons également l'utilisation du logarithme du prix de vente et d'une forme quadratique des variables explicatives destinée à prendre en compte les effets non linéaires.

En l'absence de réponse définitive fournie par la littérature, on peut néanmoins, à la suite de Terra (2005), souligner les avantages et inconvénients des trois méthodes qui suivent :

- la forme linéaire, quoique généralement inadaptée, est la plus simple à estimer et à interpréter;
- la forme log-linéaire, également facile à estimer, est d'interprétation plus complexe, notamment pour les variables binaires ; les modèles de Box-Cox, certes plus difficiles à estimer, ont en revanche une plus grande généralité, les formes précédentes n'en étant que des cas particuliers.

En pratique, les modèles estimés présentent souvent une variable expliquée en logarithme (Terra, 2005). Dans cette spécification, les caractéristiques peuvent être des transformations logarithmiques, par exemple de variables continues (modèle log-log) ou non transformé (modèle semi-log). Les variables explicatives seront souvent plutôt catégorielles que continues et représentées par une série de variables indicatrices qui sont égales à 1, lorsque le bien appartient à la catégorie considérée, et égales à 0 dans le cas contraire (Eurostat, 2013).

Choix des variables explicatives du modèle

Selon Maleyre (1997), deux pratiques sont a priori envisageables : la première est uniquement guidée par un souci d'exhaustivité et consiste donc à introduire dans la fonction toutes les variables susceptibles d'influencer le prix des logements. Le choix peut être vaste. Mais Maleyre (1990) souligne que cette pratique doit être rejetée sans hésitation : il est établi que la multiplication des variables non seulement n'améliore pas significativement le pouvoir explicatif du modèle mais encore se heurte rapidement à un problème de multicolinéarité et par conséquent détériore la qualité des paramètres estimés. La bonne méthode ne consiste donc pas selon l'auteur à collecter sans discernement un maximum de variables, mais à en sélectionner quelques-unes sur la base du principe justifiant l'analyse hédonique des prix. Pour sélectionner lesdites variables, on s'appuie en fait plus ou moins explicitement sur les enseignements de l'analyse économique, c'est à dire sur l'économie immobilière et l'économie spatiale.

On a vu que les caractéristiques retenues pour expliquer les prix sont généralement regroupées en 4 catégories :

- Les caractéristiques propres au logement. Les plus couramment retenues sont : le type d'habitation (appartement, maison individuelle), l'âge ou la date de construction, la surface totale habitable, la surface totale de la propriété, le nombre de pièces (et leur surface moyenne), le nombre de salle de bain, la présence d'une piscine, d'une cheminée, d'un garage qui peuvent être regroupées dans une note globale relative au confort de l'habitation, la qualité de l'isolation de façade (simple ou double vitrage), la vue, l'état global de l'habitation.
- Parmi les variables d'accessibilité dont l'introduction s'appuie en fait sur les résultats de la théorie de localisation résidentielle, on peut citer : a) la distance au(x) centre(s) qui n'a en fait de sens que si l'on s'adresse aux marchés locaux ; b) la distance à différents équipements collectifs (commerces, écoles, hôpitaux,) ; les distances par rapport aux transports en commun (station de bus, de trains, etc.), etc. ;
- Le choix des variables décrivant l'environnement social est beaucoup plus vaste et délicat : en général, ces variables ont une incidence faible sur le prix et l'interprétation de leur relation avec le prix du logement n'est pas toujours claire (Maleyre, 1997). Parmi les variables les plus fréquemment rencontrées, censées saisir le niveau social du quartier, nous pouvons néanmoins citer celles qui décrivent le niveau scolaire du quartier (taux de scolarisation, taux de succès aux examens, etc.), le revenu moyen ou médian du quartier, des variables décrivant la structure socioprofessionnelle (pourcentage des cadres, employés et ouvriers). On s'attend généralement à une liaison positive. L'hypothèse étant que les ménages sont prêts à payer davantage pour un logement donné, lorsque celui-ci est situé dans un environnement socialement élevé. Les variables censées saisir les qualités physiques de l'environnement sont également diverses : qualité du bâti (pourcentage des logements dégradés dans le quartier par exemple), densité de construction, voire la qualité des espaces publics ;
- Les variables d'environnement physique : niveaux de pollution de l'air, de bruit, d'intrusion ; visuelle. Généralement, les variables à retenir dépendent du contexte de l'étude.

Les tableaux suivants (tableau 4 à 7) illustrent une hiérarchie des différentes variables explicatives rencontrées dans les études de prix hédoniques (non exhaustive). Les variables à retenir dépendent

en fait du contexte socioculturel dans lequel l'étude est menée. Des différences notables existent entre le contexte nord-américain (USA, Canada) et le contexte européen et français.

Variables	Etudes ayant pris en compte la variable
Superficie du logement	1,2,3,4,5,6,8,9,10,,11,12,13,14
Nombre de pièces	1, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 13,14
Age ou date de construction	1, 4, 5, 9, 10, 11, 12,13
Salle de bain	5, 8, 9, 11, 12,13
Garage/parking	1, 4, 5, 9, 10, 11,13
Année de la transaction	4, 5, 13,14
Qualité/état du logement	2, 4, 9, 10,13
Type de logement (maison, appartement)	1, 4, 5,9
Superficie du terrain	1,2
Présence de chauffage, de cheminée	1, 8,13
Présence de jardin	4,9
Présence d'isolation de façade (simple, double vitrage, etc.	4
Cuisine équipée, Balcon/terrasse, Meublé ou non, cave, présence d'un ascenseur, d'un accès de personnes handicapées	10

Tableau 4: Caractéristiques structurelles prises en compte dans les études de prix hédoniques

Variables	Etudes ayant pris en compte la variable
Distance par rapport aux axes routiers/autoroutes	1, 2, 4,12
Distance par rapport à la station de bus/tramway/train la plus proche	1, 2, 4,10
Distance par rapport à l'aéroport	8, 13,14
Distance au centre-ville	1, 10,12
Distance par rapport à un hôpital/ caserne de pompier/maison de retraite	12

Tableau 5: Caractéristiques d'accessibilité prises en compte dans les études de prix hédoniques

Variables	Etudes ayant pris en compte la variable
Municipalité/commune/ville	4, 5, 8,13
Composition ethnique du voisinage	1, 12,11
Niveau de revenu	1, 9,14
Taux d'emplois/ de chômage	1, 10, 12,14
Densité de population	1, 4,14
Problèmes, criminalité dans le quartier	9
Taux de cadre, taux d'ouvriers, âge, nombre d'enfants par ménage, taux de logement vacant, taux d'HLM, taux d'appartement, taux d'entreprise dans le quartier	12
Richesse des ménages, présence d'habitants issus de minorité ethnique, âge des habitants, proportion de ménages avec enfants (ACP)	3
Distance par rapport à une Zone Urbaine Sensible (ZUS)	11

Tableau 6: Caractéristiques socio-économiques du voisinage prises en compte dans les études de prix hédoniques

Variables	Etudes ayant pris en compte la variable
Bruit aérien	5, 8, 13,14
Bruit ferroviaire	1,2
Bruit routier	1,2
Bruit aérien + route + rail	3,4
Vue du paysage (bâti, culture, prés, feuillus, etc.)	7
Espace vert, qualité du bâti, environnement, école, crèche, facilités, culture,	14
Climat	9
Proximité par rapport à un lac/ cours d'eau/rivière, proximité par rapport à une colline/montagne, paysage	1

Tableau 7: Caractéristiques de l'environnement physique prises en compte dans les études de prix hédoniques

Note : 1 (Chang & Kim, 2013) ; 2 (Anderson & al. 2009) ; 3 (Day & al. 2009), 4 (Dekkers & Van Der Straaten, 2009), 5 (INSEE/Notaires), 6 (Fabuler et Maleyre, 2007), 7 (Brossard et al, 2007), 8 (Cohen & Coughlin, 2006), 9 (Cavailhès, 2005), 10. (Fritch, 2007), 11 (Desponds et Bergel, 2014), 12 (Travers, 2015), 13 (Espey et Lopez, 2000), 14 (Bréchet et al., 2009)

Conclusion

Cette section nous a permis de constater que, comme la MPH fait appel à une approche économétrique, elle est très délicate d'application et nécessite de nombreuses précautions. Néanmoins, une grande partie des différents problèmes pouvant être rencontrés sont surmontables grâce aux apports des recherches récentes.

En guise de conclusion, on peut dire qu'il demeure difficile de fixer l'ensemble des conditions de succès des applications. Toutefois, les caractéristiques suivantes sont celles que doit posséder une étude adéquate :

- Une série de données importante, de plusieurs centaines d'observations au moins ;
- La disponibilité de plusieurs variables représentant chaque catégorie pertinente de caractéristiques ;
- Des variations significatives de la variable « qualité de l'environnement » intéressantes pour toute la série de données ;
- Des tests de plusieurs formes fonctionnelles pour choisir les formes les meilleurs.

A partir de la section suivante (section 4), nous proposons une méthode d'évaluation empirique des effets des murs antibruit sur le prix immobilier adapté au contexte français, en commençant par la présentation des données et sources mobilisées.

4. DONNÉES ET SOURCES MOBILISÉES

Nous avons vu au sein du chapitre précédent les particularités relatives à une analyse hédonique, qui suppose de pouvoir collecter les séries de données suivantes : données sur les prix et les caractéristiques des logements, données sur les caractéristiques de localisation, données sur les caractéristiques socio-économiques du voisinage et données sur les caractéristiques de l'environnement physique, en particulier le niveau d'exposition au bruit des logements et les diverses aménités comme la présence de murs antibruit. Cette section présente les sources de données que nous avons mobilisées dans le projet.

4.1. Données sur les transactions immobilières

En France, les sources de données sur les transactions immobilières sont multiples. Une étude menée par le CGEDD (Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable) en 2008 (CGEDD, 2008) a recensé douze sources primaires pouvant être utilisées pour l'analyse du marché immobilier (logements anciens). Parmi ces sources, certaines peuvent être exploitées pour la mise en œuvre de la méthode des prix hédoniques. Plus précisément, il s'agit de celles qui distinguent les logements selon leur ancienneté et qui fournissent des informations sur les prix et les caractéristiques des logements. Il s'agit des sources suivantes : les bases données notariales sur les transactions immobilières (BIEN et PERVAL), les fichiers d'extraits d'actes de la DGI, la Base ŒIL des Services des domaines, les fichiers des DIA (déclaration d'intention d'aliéner), les données du FNAIM (Fédération nationale des agents immobiliers) et l'enquête logement de l'INSEE. L'annexe 2 présente ces différentes sources, en les comparant à travers les critères pertinents permettant d'identifier leurs avantages et inconvénients pour la mise en œuvre de la MPH. Ainsi, il ressort du tableau que chacune des sources a ses propres avantages et inconvénients. Néanmoins, la comparaison de celles-ci fait ressortir l'intérêt des bases Notariales pour atteindre les objectifs de notre étude, quel que soit le critère retenu, mis à part le coût d'acquisition.

Pour notre étude, le choix s'est donc orienté sur les bases de données notariales sur les transactions immobilières. Les données utilisées proviennent de la base BIEN (Base d'Information Economique Notariale), qui est la base dédiée à la Région Ile-de-France.

Cette base recense les transactions de biens immobiliers, depuis 1990 pour Paris et les Départements de la Petite Couronne et depuis 1996 pour les Départements de la Grande Couronne. Bien qu'alimentée par les seuls notaires affiliés à la CINP¹⁸, ce qui ne concerne pas tous les notaires d'Ile-de-France, la base BIEN assure d'excellents taux de couverture pour l'immobilier résidentiel (le taux de couverture est en 2015 de l'ordre de 75% des transactions réellement intervenues, selon les Notaires).

De nombreuses études de prix hédoniques utilisent cette source. On peut citer notamment l'Indice INSEE-Notaires, Calcoen *et al* (2003), Faburel et Maleyre (2007), Desnponds et Bergel (2014), etc.

La base BIEN est particulièrement intéressante. Il s'agit sans doute de la base la plus complète en France, au niveau des variables répertoriées. Elle procure pour chaque transaction quatre séries d'informations concernant : i) les caractéristiques du bien (type de bien, surface, étage, date de construction...), ii) la mutation elle-même (type de mutation, date, montant, prix au mètre carré, prix

¹⁸ Chambre Interdépartementale des Notaires de Paris.

total), *iii*) les caractéristiques sociodémographiques du vendeur et de l'acquéreur (catégorie socioprofessionnelle, âge, statut matrimonial, origine géographique) et *iv*) la localisation précise du bien renseignée par les coordonnées x et y. Chaque transaction peut donc être croisée de façon très précise à son niveau d'exposition au bruit et à ses caractéristiques d'accessibilité. Les données de la base BIEN présentent toutefois des fragilités : certaines variables sont insuffisamment informées (notamment la surface habitable ou la présence d'un ascenseur). Par ailleurs, certaines informations potentiellement importantes comme la qualité de l'isolation phonique, ne sont pas renseignées. Enfin, le coût de commercialisation de la base peut constituer un obstacle selon le volume de données à acquérir (par exemple dans le cadre de travaux menés par des laboratoires de recherche).

Justement, les informations disponibles pour notre projet ne portent, en raison des contraintes financières précédemment citées, que sur les communes où SNCF Réseau a procédé à la pose de murs antibruit (Noisy-le-Sec/Bondy (Département de la Seine-Saint-Denis, 93) et Chelles-Vaires-sur-Marne (Département de la Seine-et-Marne (77)). Notre base couvre la période allant de l'année 2011 à l'année 2016 pour le premier terrain et allant de l'année 2004 à l'année 2016 pour le second terrain étudié. Elle contient à la fois les mutations relatives aux maisons et aux appartements neufs et anciens.

La constitution de l'échantillon, respectant les critères retenus par l'INSEE-Notaires pour l'élaboration des indices des prix, se limite aux mutations de gré à gré sur le marché des logements anciens¹⁹ (elles excluent donc les donations, les viagers et les héritages, les ventes réalisées par les personnes morales – promoteurs, compagnies d'assurance, etc. et l'ensemble des ventes de logements neufs). Sont aussi exclus les logements jugés atypiques tels que les châteaux, les grandes propriétés ou les hôtels particuliers. De plus, les logements doivent être libres d'occupation au moment de la vente et destinés à usage strict d'habitation. Au total, après avoir supprimé toutes les données inutiles et manquantes, nous disposons de 1 087 transactions de maisons et 1 715 transactions d'appartements pour Noisy/Bondy et de 2 931 et 3 337 transactions de maisons et d'appartements, respectivement, pour Chelles et Vaires-sur-Marne.

Le tableau suivant (tableau 8) présente une synthèse des variables contenues dans la base et de leurs taux de renseignement respectif.

¹⁹ Logement construit depuis plus de 5 ans ou ayant déjà fait l'objet d'une première mutation.

Variable	Noisy-le-Sec et Bondy		Chelles et Vaires-sur-Marne	
	Maison	Appartement	Maison	Appartement
Prix	100 %	100 %	100 %	100 %
Surface habitable	60 %	98,1 %	65,8 %	83,7 %
Surface du terrain	87,7 %	-	95,9 %	-
Année de la transaction	100 %	100 %	100 %	100 %
Mois de la transaction	100 %	100 %	100 %	100 %
Nombre de garage	100 %	100 %	99,9 %	96,5 %
Nombre de pièces	99,7 %	99,5 %	99,2 %	99,7 %
Nombre de salles de bain	100 %	100 %	100 %	100 %
Nombre de niveau	100 %	-	99,7 %	-
Epoque	43,9 %	69,3 %	90,0 %	90 %
Jardin	91,6 %	13,6 %	97,1 %	10,2 %
Terrasse	42,3 %	60,2 %	8,3 %	48,8 %
Type de maison	98,4 %	-	90,2 %	-
Etage	-	100 %	-	98,6 %
Type d'appartement	-	99,9 %	-	99,9 %
Ascenseur	-	32,9 %	-	60,1 %
Coordonnée X	100 %	100 %	100 %	100 %
Coordonnée Y	100 %	100 %	100 %	100 %

Tableau 8 : Présentation de la base BIEN

Source : Calcul à l'aide de la base BIEN – Chambre des Notaires, Transactions réalisées dans les communes de Noisy-le-Sec et Bondy entre 2011 et 2016

Traitement des valeurs manquantes

Ce tableau apporte quelques commentaires concernant la prise en compte des valeurs manquantes. En fait, on voit que la base BIEN souffre du faible taux de renseignement de certaines variables essentielles, dont la principale est la surface habitable (seulement à 60% dans notre cas pour les maisons). Certaines variables comme le nombre de pièces sont toutefois extrêmement bien renseignées. Pour pouvoir être exploité dans les calculs, suivant toujours la méthode INSEE-Notaires, l'une ou l'autre des variables « nombre de pièces » et « surface » doivent être présentes. Les variables manquantes sont imputées, soit par estimation soit par recodage. Ainsi, par exemple, les variables surfaces sont estimées en fonction du nombre de salles de bains, du nombre de pièces, de l'époque de construction, du nombre de niveaux (ou d'étages), du type de biens et de la surface du terrain. Le nombre de pièces est estimé notamment en fonction de la surface et du type de bien. Pour les variables spécifiées sous forme de variables binaires (par exemple l'époque de construction), nous avons créé une catégorie appelée « non renseignée » (INSEE-Notaires, 2014).

4.2. Données relatives au bruit ferroviaire et au mur antibruit

On a vu d'après les enquêtes socio-acoustiques que les murs antibruit engendrent deux catégories d'effets (voir section 1) :

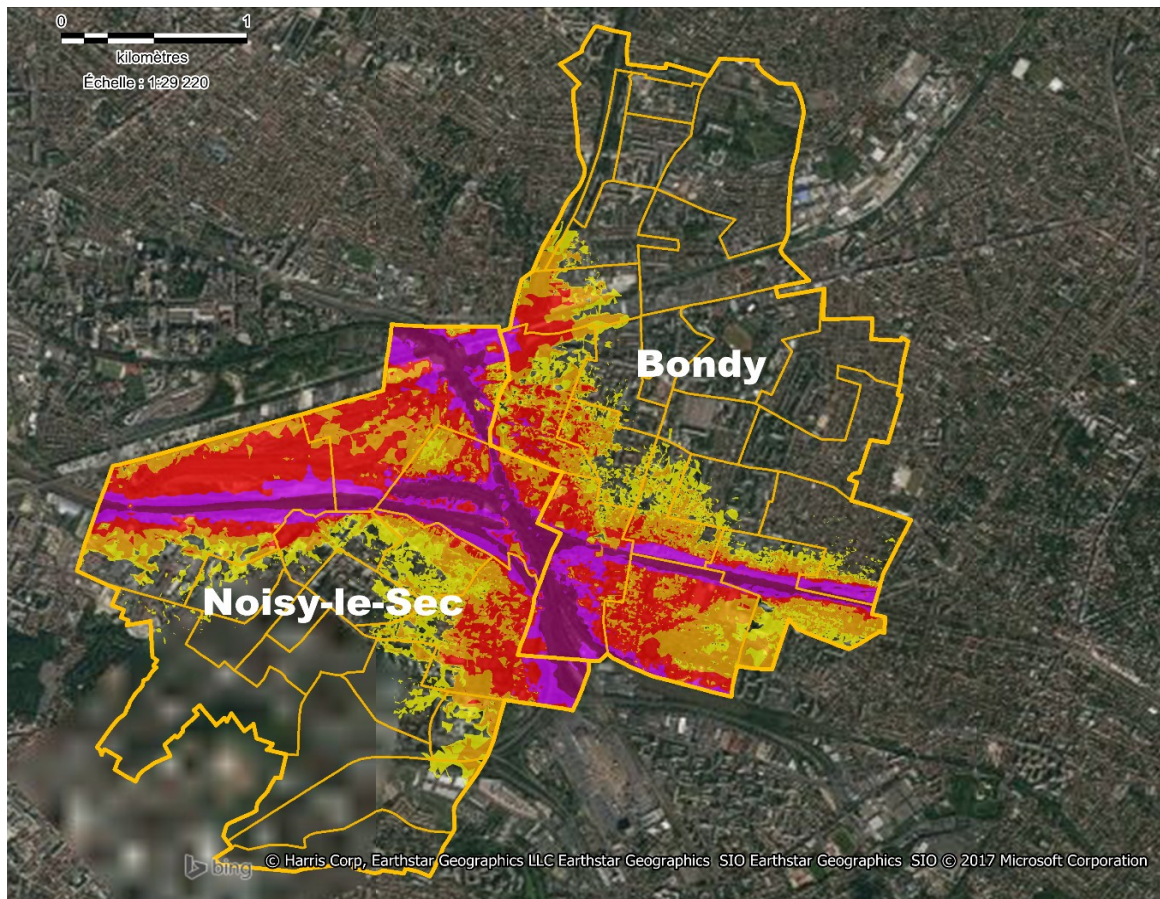
- l'effet en terme d'atténuation du niveau sonore, que nous allons prendre ici en compte par les données relatives à la mesure du niveau de bruit ferroviaire ;

- et l'effet esthétique, que nous tentons ici de prendre en compte par les données relatives aux distances par rapport au mur antibruit.

4.2.1. Données relatives au bruit ferroviaire

Dans cette étude, nous utilisons les données relatives au niveau de bruit ferroviaire. Nous cherchons alors à mesurer l'impact d'une variation de ce niveau de bruit sur le prix du logement.

L'indice acoustique utilisé est le LDEN (« *Level-Day-Evening-Night* »). C'est désormais l'indice de référence, tant au niveau de la réglementation qu'au niveau des experts et nous estimons par conséquent qu'il est pertinent de baser les résultats des évaluations sur cet indice (indicateur retenu par la Commission Européenne pour les bruits de l'ensemble des moyens de transport pour prendre en compte la gêne ressentie – Directive 2002/49/CE). Le LDEN correspond au niveau de bruit équivalent pondéré sur une période de 24h, auquel on attribue des facteurs de pondération pour les périodes de soirée et nocturnes. Il est calculé de la manière suivante : la journée est découpée en trois périodes (le jour, de 6 heures à 18 heures, la soirée de 18 heures à 22 heures et la nuit de 22 heures à 6 heures du matin). Afin de compenser les gênes inégalement ressenties lors de chacune des périodes de la journée, les niveaux de bruit sont pondérés différemment : + 5 dB pour la soirée et + 10 dB pour la nuit. Il est possible, par modélisation, de déterminer les niveaux sonores en tout point le long de lignes sources de bruit à partir des hypothèses de trafic. Les données utilisées proviennent des cartes stratégiques de bruit (au sens de la directive européenne) issues des calculs effectués par le CEREMA, que nous appellerons dans cette étude « données CEREMA ». Les figures 6 et 7 présentent ces courbes d'iso-bruit, exprimées en LDEN, pour chaque terrain étudié. Les données sont disponibles pour l'année 2009 pour le cas de Noisy-le-Sec/Bondy et 2007 pour le cas Chelles/Vaires-sur-Marne. On peut y voir cinq zones de bruit, le contour le plus proche de la voie équivaut à >75 dB(A), la plus éloignée de la voie ferroviaire correspondant à celle où le niveau de bruit est le plus faible (50-55 dB(A)). D'une manière générale, dans ces cartographies concernant la première échéance, les niveaux sonores sont présentés par tranche de 5 dB(A).



Niveau de bruit en LDEN	
	55 - 60 dB(A)
	60 - 65 dB(A)
	65 - 70 dB(A)
	70 - 75 dB(A)
	> 75 dB(A)
	Limite communale

Situation 2009



Source : CEREMA

Les niveaux sonores sont représentés en classe de 5 dB(A) et selon les couleurs réglementaires conformes à la norme NF S 31 130

Cartographie : N. SEDOARISOA

Figure 6: Cartographie stratégique de bruit des communes de Noisy-le-Sec et Bondy

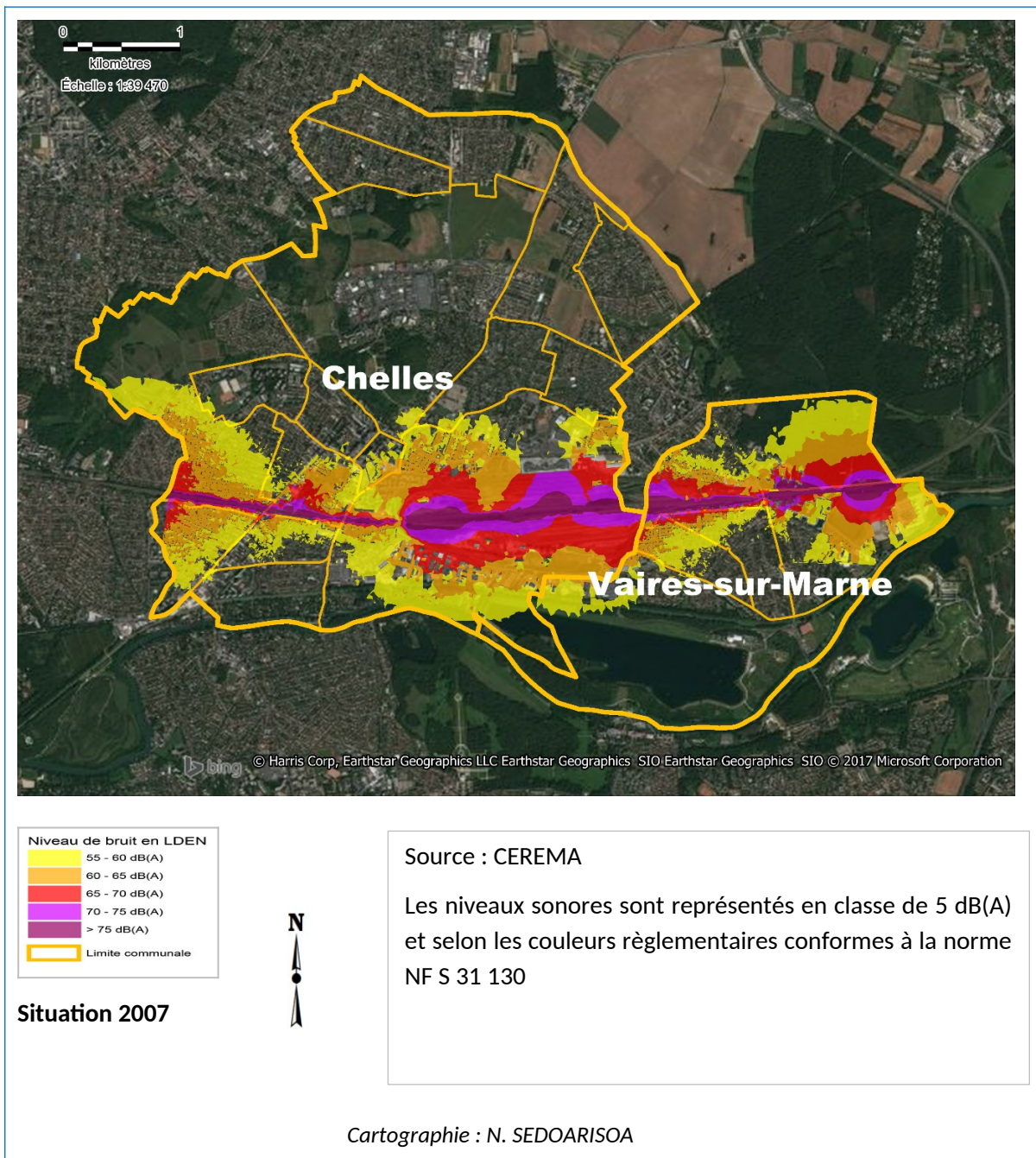
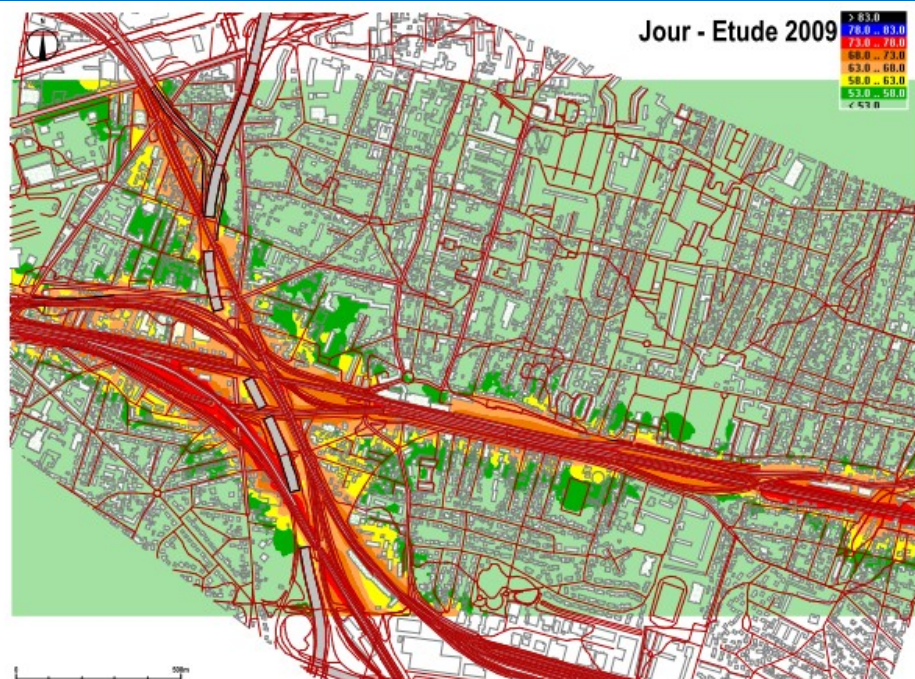


Figure 7: Cartographie stratégique de bruit des communes de Chelles et Vaires-sur-Marne

Dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy, une autre source de données est mobilisée : les données issues des calculs effectués par SNCF Réseau dans le cadre des études réalisées pour la résorption des PNB. Ces données expriment le niveau de bruit à l'aide des indices LD qui mesurent le niveau sonore pendant la période diurne (LAeq(6h-22h)) et le LN, un indicateur mesurant le niveau sonore pendant la période nocturne (LAeq(22h-6h)). L'avantage de cette source est que, pour chaque indicateur, nous disposons des courbes obtenues à l'aide des calculs du niveau sonore relatifs aux périodes avant et après la pose des murs antibruit. Comme les données CEREMA, les courbes iso phoniques sont construites par intervalle de 5 dB(A), mais allant de <53 dB(A) pour la plus éloignée de la voie à 83 dB (A) pour la plus proche (voir figure 8).

PNB Noisy-Bondy :
 Etude 2009 le jour
 sans protection
 Carte LAeq_(6h00-22h00)
 en dB(A)



PNB Noisy-Bondy :
 Etude 2009 le jour
 avec protection
 Carte LAeq_(6h00-22h00)
 en dB(A), Hauteur =
 4m



Figure 8: Carte LAeq_(6h00-22h00) en dB(A) pour les périodes avant et après la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy.

Source : Ingénierie SNCF- IG.3 LG.ENV (2009). Résorption des Points Noirs du Bruit Ferroviaire en Ile-de-France. Communes de Bondy et Noisy-le-Sec. Etude acoustique complémentaire.

Notons que pour les données CEREMA, les cartographies les plus récente de deuxième échance (c'est-à-dire correspondant à la période après la pose des murs) n'utilisent pas les mêmes hypothèses que celles réalisées avant la pose des murs, l'influence des murs ne pourra donc pas être correctement estimée de la lecture de ces deux courbes. Pour pallier ce problème, les acousticiens de SNCF Réseau préconisent alors de garder les courbes avant la pose des murs et d'estimer celles après la pose, en se basant sur les informations tirées de la comparaison des courbes iso bruit de l'étude sans et avec murs effectuée par SNCF Réseau. La comparaison de ces deux courbes a fait ressortir que le périmètre d'influence sonore des murs s'étend sur une bande de 300m au droit de

chaque mur (voir la surface hachurée sur les figures 12 et 13, section 4.3 de ce rapport). Ainsi, dans cette zone, il est estimé que la valeur du niveau sonore après la pose des murs correspond au niveau sonore avant la pose des murs, auquel on a soustrait 10 dB(A) (réduction sonore moyenne apportée par les murs). Les valeurs au-delà de ces zones après la pose des murs sont supposées identiques à celles avant la pose des murs.

Notons enfin que les descripteurs acoustiques s'attachent souvent à mesurer le niveau sonore d'une source, par exemple le train, et sans prise en compte du phénomène de multi-exposition au bruit. Les niveaux sonores sont mesurés en façade des habitations.

4.2.2. Données relatives aux murs anti-bruit

Les informations relatives au positionnement géographique des murs antibruit proviennent de SNCF Réseau.

Concernant Noisy-le-Sec/Bondy, la zone d'étude comprend 12 murs d'une longueur totale de 3 155 m. Leur hauteur varie entre 2 et 4m et leur longueur de 80 à 630m. Les matériaux utilisés sont de type absorbant (voir figure 9). Certains bâtiments ont bénéficié d'isolation acoustique de façade, cependant, aucun d'entre eux ne figurent dans nos échantillons de transaction immobilière. L'opération a nécessité deux ans de travaux, allant de février 2013 à avril 2015. Au terme des travaux, des mesures ont permis de constater la baisse de 10 dB(A) évoquée dans la section précédente.



Figure 9: Photos des murs antibruit installés à Noisy-le-Sec et Bondy

Source : SNCF Réseau

À Chelles, les écrans sont d'une hauteur de 1m à 3m par rapport au terrain naturel et ont été positionnés en crête des talus existants. Plusieurs types de matériaux sont utilisés, comme le béton de bois, translucide ou en verre (voir figure 10). Au total, ils mesurent 1615 mètres. Ils ont été installés en deux phases : d'octobre 2010 à juin 2011 et de juin 2015 à avril 2016. En 2006, des écrans de type translucides et en béton de bois semi-absorbant mesurant 750 mètres de longueur ont déjà été installés au titre du projet LGV Est. Ces écrans comportent côté riverain des clins en bois traités autoclave. Il est important de noter qu'à Chelles, une grande partie des murs ont été construits dans

des zones où des végétations étaient déjà présentes avant leur pose. Ces végétations sont restées après leurs pose, rendant les murs presque invisibles du côté des logements (mais pas du côté de la voie ferroviaire). Comme on l'a constaté dans la section 1, la présence de verdure pourra influencer la préférence des individus, ce qui nous a conduit dans la suite du travail à considérer deux types de murs (avec et sans verdure) dans le cas de Chelles et Vaires-sur-Marne. Les types de matériaux n'ont pas pu être pris en compte dans notre étude. En effet, cela a conduit à un nombre très faible de transactions concernées par chaque type de mur.

Photo n°1 : Ecran en béton de bois habillé d'un placage bois côté riverain



Photo n°2 : Ecran en béton absorbant côté voie



Photo n°3 : Ecran translucide



Photo n°4 : Mur avec verdure



Plusieurs types de matériaux utilisés : béton de bois (photo n°1), béton (photo n°2), transparent (photo n°3). La photo n°4 illustre le mur avec verdure.

Hauteur : 1 à 3 m par rapport au terrain naturel

Longueur totale des écrans : 1 615 mètres

Trois phases de travaux : en 2006, d'octobre 2010 à juin 2011 et de juin 2015 à avril 2016

Figure 10: Photos des murs antibruit installés à Chelles

Enfin, à Vaires-sur-Marne, on retrouve des écrans d'une hauteur de 2,5 à 3m par rapport au terrain naturel, inclinés, ou verticaux suivant les zones et positionnés en crête des talus existants. Les matériaux utilisés sont de type réfléchissant (béton) (figure 11). Leur longueur totale est de 1 610 mètres. Ils ont été posés en deux phases, d'octobre 2010 à juin 2011 et de juin 2014 à mai 2015.

Photo n°1	Photo n°2	Photo n°3
-----------	-----------	-----------



Photos des murs antibruit installés à Vaires-sur-Marne, vue de la voie ferroviaire.

Type de matériaux utilisés : béton de bois

Hauteur : 2,5 à 3 m par rapport au terrain naturel.

Longueur totale des écrans : 1 610 mètres

Les travaux se sont déroulés en deux phases : d'octobre 2010 à juin 2011 et de juin 2014 à mai 2015

Figure 11 : Photos des murs antibruit installés à Vaires-sur-Marne

Source : SNCF Réseau

Dans notre étude, l'effet esthétique des murs sera apprécié, comme dans les études hédoniques similaires, à travers des variables mesurant la distance du logement par rapport au mur. Concernant la méthode de calcul de la variable distance, nous avons retenu la distance euclidienne (distance à vol d'oiseau) entre chaque logement et le mur la plus proche. Cette variable a été calculée automatiquement à l'aide du logiciel MAPINFO. La variable distance par rapport au mur sera seulement attribuée aux données sur les transactions immobilières réalisées après la date de pose des murs antibruit. Pour permettre une évaluation fine de l'effet, la variable distance sera construite de la manière la plus fine possible : par bande de 100m de part et d'autre du mur. De plus, selon les résultats de l'étude de Cavailhès et al. (2007) sur le prix des paysages, les ménages sont « myopes », c'est-à-dire que les plans de vision situés au-delà de quelques centaines, voire dizaines de mètres et les objets qu'ils contiennent n'ont pas de prix hédoniques significatifs. Cavailhès et al. montrent que la plupart des résultats significatifs concernent les 70 premiers mètres autour des maisons.

4.3. Données relatives aux autres caractéristiques de localisation

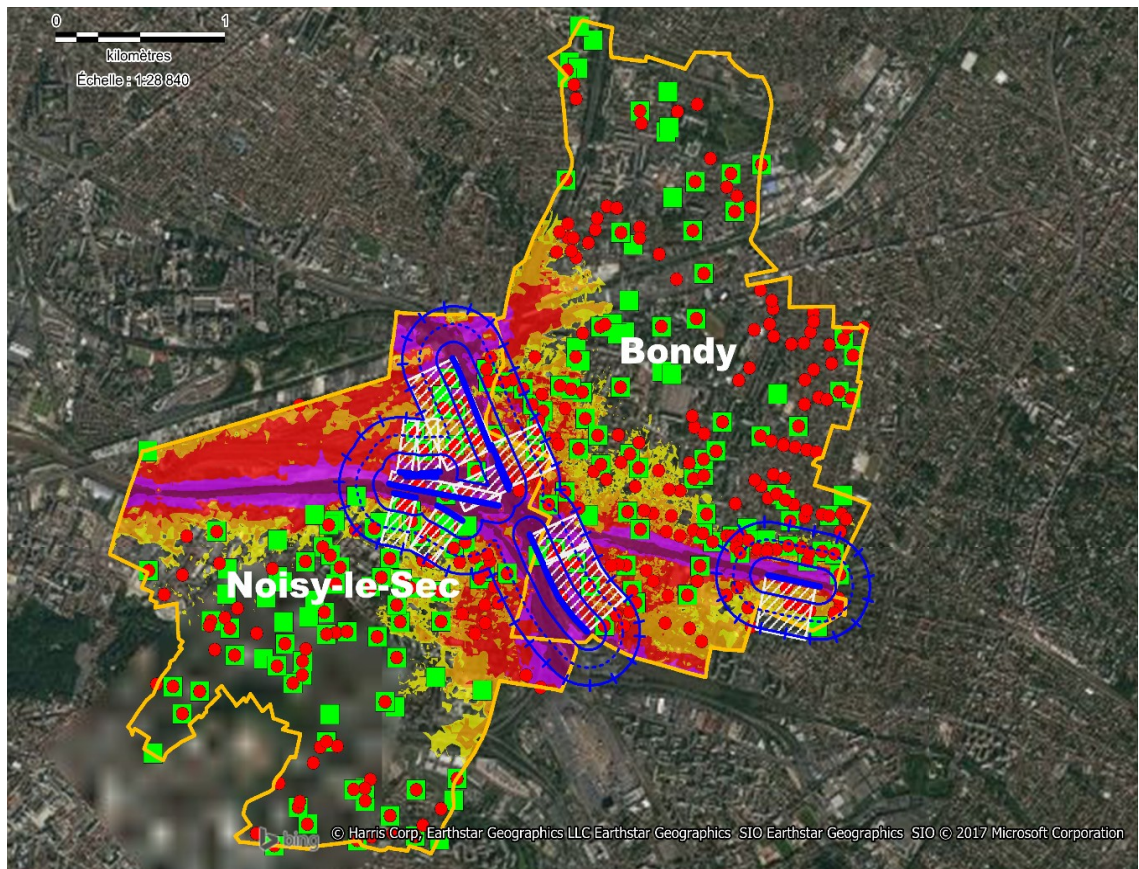
En plus des données sur les transactions immobilières et de celles relatives au bruit, nous avons dû mobiliser des sources complémentaires pour tenir compte des autres attributs pouvant également jouer dans la fixation des prix des logements :

- Les résultats du recensement de la population de l'INSEE pour les caractéristiques socio-économiques du voisinage. Les données sont fournies à l'échelle des IRIS ;
- Le SIG pour le calcul des variables d'accessibilité (gare RER, stations de bus, etc.). Nous avons utilisé les données SIG les plus récentes, téléchargeables depuis le site de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France ;
- La carte stratégique du bruit routier pour prendre en compte la multi-exposition au bruit. Les données sont issues des cartographies disponibles dans le site de BruitParif. Notons cependant qu'au moment où nous avons réalisé l'étude, les cartes de bruit routier concernant Chelles et Vaires-sur-Marne n'étaient pas disponibles sur le site de BruitParif. De ce fait, pour le cas de Chelles et Vaires-sur-Marne, nous avons utilisé la variable distance par rapport à la voie routière comme proxy à la variable bruit routier, comme il est fréquemment rencontré dans les études de prix hédoniques sur le bruit des transports.
- Les autres variables mesurant les différentes aménités environnementales sont également calculées à l'aide des données SIG fournies par l'IAU-Idf (distance par rapport aux bois, par

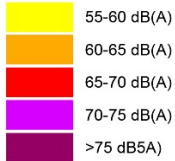
rapport à un fleuve, etc.) et des données fournies par l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière).

Le logiciel SIG MAPINFO a été utilisé pour le traitement des données SIG, notamment pour la conversion des fichiers rasters en vecteur (il s'agit des cartes de bruit fournies par SNCF Réseau et les cartes stratégiques de bruit routier), pour calculer les variables de distances ainsi que pour effectuer le croisement des différentes sources de données avec les données sur les transactions immobilières. Pour ce croisement, chaque logement a été géolocalisé à l'aide de leurs coordonnées x et y respectifs. Pour les traitements économétriques, nous avons utilisé les logiciels SPSS et STATA.

Les cartes suivantes (figure 12 et 13) donnent un aperçu global des résultats issus de la fusion des différentes sources de données constituant notre base.

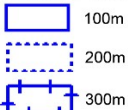


Niveau de bruit en LDEN



Mur antibruit

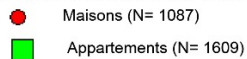
Distance par rapport au mur



Zone d'influence sonore du mur

Limite communale

Transactions réalisées entre 2011 et 2016



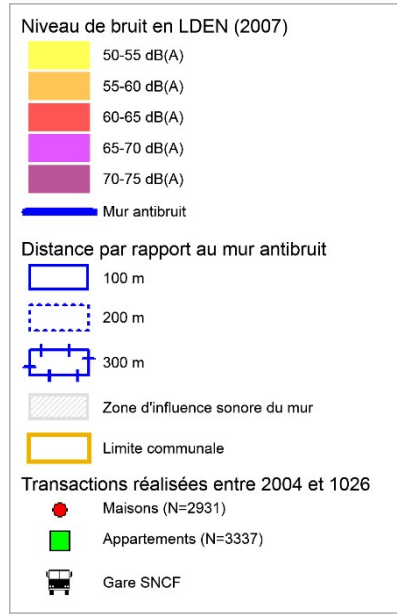
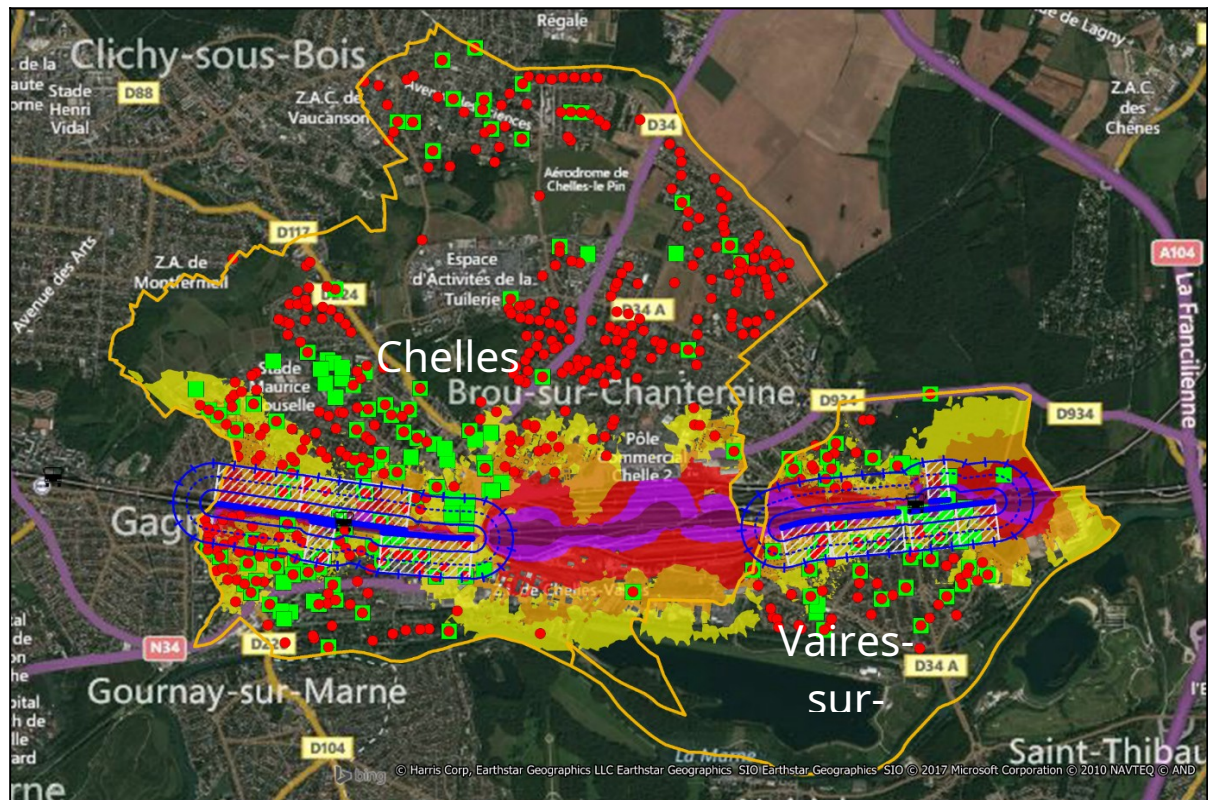
Sources :

- CEREMA 2009 (zone de bruit) ;
- SNCF Réseau (mur antibruit) ;
- Base BIEN - Chambre des Notaires de Paris, 2011 - 2016 (Transactions immobilières) ;
- SIG (Distances par rapport aux murs)



Cartographie : N. SEDOARISOA

Figure 12: Superposition des données sur les transactions immobilières avec les données relatives à la localisation du logement : cas de Noisy-le-Sec et Bondy



Sources :

- CEREMA 2007 (zone de bruit) ;
- SNCF Réseau (mur antibruit) ;
- Base BIEN – Chambre des Notaires de Paris, 2011 – 2016 (Transactions immobilières) ;
- SIG (Distances par rapport aux murs)



Cartographie : N. SEDOARISOA

Figure 13: Superposition des données sur les transactions immobilières avec les données relatives à la localisation du logement : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne

5. LE MODÈLE À ESTIMER

Il convient tout d'abord de noter que la description des marchés du logement fait apparaître la diversité des caractéristiques composant le prix ainsi que la nécessaire distinction entre maisons et appartements. En effet, certaines variables ne concernent que les appartements (numéro de l'étage, ascenseur), d'autres presque exclusivement les maisons (présence d'une piscine, superficie du terrain). Par ailleurs, comme l'ont rappelé Desponds et Bergel (2013), ces biens ne s'inscrivent pas de la même façon dans les stratégies résidentielles des ménages, en termes de revente comme de profils des acquéreurs (Massot, 1999 ; Desponds, 2005 ; Desponds et Bergel, 2013). En raison de leurs spécificités, ces types de biens doivent être analysés séparément.

Cette section présente d'abord les variables choisies pour nos modèles selon le type de bien, ainsi que le traitement requis pour l'analyse économétrique. Elle présente en outre le choix de la forme fonctionnelle.

5.1. Variable expliquée

La variable expliquée retenue est le prix total des transactions et non le prix au mètre carré, comme il est désormais d'usage dans la plupart des applications de la méthode des prix hédoniques à l'immobilier. Cela nous permettra aussi de procéder à des comparaisons avec la littérature existante sur l'analyse hédonique des prix des logements.

5.2. Variables explicatives

5.2.1. Caractéristiques structurelles et temporelles

Les caractéristiques structurelles retenues sont celles habituellement utilisées dans les études de prix hédoniques. Ces caractéristiques sont disponibles dans différentes sources (Cf tableau annexe 1). Ci-dessous, nous utiliserons la base BIEN des notaires (payante) :

- la surface habitable (*SURFACE*)
- la surface du terrain (maison) (*TERRAIN*)
- le nombre de pièces (*PIECE_X*)
- le nombre de salles de bain (*SLDB_X*)
- le nombre de garages (*GARAGE_X*)
- le nombre de niveau pour les maisons (*NIVEAU_X*)
- le numéro de l'étage pour l'appartement (*ETAGE_X*)
- la présence d'un ascenseur pour appartement (*ASCENS*)
- l'époque de construction (*EPOQUE_X*)
- la présence de terrasse (*TERRASSE_X*)
- la présence de jardin (*JARDIN_X*)

Les variables surfaces sont spécifiées sous forme de variables continues. Toutes les autres sont spécifiées sous forme de variables binaires.

Etant donné que les transactions ont été réalisées à des dates différentes, il faut également tenir compte des variables temporelles au moyen de l'actualisation ou de variables indicatrices temporelles (*ANNEE_X*) valant 1 si la transaction a été réalisée l'année considérée et 0 sinon. Il est plus courant de choisir pour catégorie de référence celle la plus ancienne, mais il n'existe là aucune règle absolue. N'importe quelle année peut être prise comme référence.

5.2.2. Caractéristiques socio-économiques du voisinage

Les caractéristiques socio-économiques du voisinage sont généralement disponibles gratuitement auprès de l'Insee. Nous avons retenu les variables explicatives suivantes :

- Le pourcentage de cadre dans le quartier (*TX_CADRES*), le pourcentage d'ouvriers dans le quartier (*TX_OUVRIERS*) et le pourcentage d'employés dans le quartier (*TX_EMPLOYES*). Ces variables permettent de tenir compte de la structure socioprofessionnelle du voisinage. Elles sont spécifiées sous forme de variable continue ;
- Le revenu disponible médian du quartier (*REVENU*)²⁰, exprimé également sous forme de variable continue. Cette variable permet de mesurer non seulement le niveau socioéconomique du quartier mais aussi celles qui décrivent le niveau scolaire du quartier. En effet, on a vu que le niveau scolaire du quartier est aussi une variable pertinente à prendre en compte. Cependant, celle-ci n'est pas disponible pour notre étude. Néanmoins, selon Cavailhès (2005), la qualité des écoles et des services publics locaux offerts par les collectivités locales serait fonction des revenus des ménages, puisque les politiques distributives contribuent à leur financement par les impôts locaux. En ce sens, l'importance du revenu fiscal des résidents d'une commune n'est pas sans effet sur la qualité des services offerts par celle-ci (Cavailhès, 2005). A ce stade, on peut utiliser comme approximation de ces variables le revenu des habitants.
- Des variables binaires, indiquant si la transaction se situe dans une Zone Urbaine Sensible (*ZUS_1*), à proximité d'une ZUS (c'est-à-dire dans un rayon de 750m autour de celle-ci) (*ZUS_2*) : on s'attend à ce que ce que celles-ci aient un impact négatif sur le prix des logements, l'image des ZUS étant souvent incarnée par les difficultés sociales (Desponds et Bergel (2010)).

5.2.3. Caractéristiques d'accessibilité

Pour mesurer l'accessibilité, notamment aux différents équipements collectifs (commerces, nœud de transports, travail, etc.), quatre variables sont retenues. Ces données sont par exemple disponibles gratuitement auprès de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France (IAU-Idf) :

- La distance par rapport à la station de train RER/SNCF (gare de voyageurs uniquement) la plus proche (*DIST_TRAIN*)
- La distance par rapport à la station de bus la plus proches (*DIST_BUS*)
- la distance par rapport au centre-ville (*DIST_CV*)
- la distance par rapport à l'autoroute (*DIST_AUTO*)

Toutes ces variables distances sont spécifiées sous forme de variables continues.

5.2.4. Les caractéristiques de l'environnement physique

Les variables explicatives retenues dans cette catégorie sont :

- Le niveau de bruit ferroviaire, appréhendé par la zone de bruit dans laquelle se situe la transaction. On s'attend à ce que celles-ci aient un impact négatif sur le prix immobilier. Ainsi

²⁰ L'INSEE définit le revenu disponible par ménage comme la totalité des sommes que perçoit le ménage (salaires, prestations sociales, revenus du patrimoine...), moins ce qu'il verse (les impôts).

que nous l'avons précédemment mentionné, deux sources de données sont mobilisées. Deux sources de données différentes sont donc considérées :

- o La source A utilisant les données CEREMA (*FER_LDEN_X*) : variable binaire valant 0 ou 1. Cette variable peut prendre six catégories s'étalant de $LDEN < 50$ dB(A) (correspondant au meilleur environnement sonore) à $LDEN > 75$ dB(A) (pour l'environnement sonore le plus bruyant) ;
 - o La source B utilisant les données SNCF Réseau (*FER_LD_X*) : 5 variables binaires correspondant à 5 catégories, allant de $< LD_{53}$ dB(A) (pour le meilleur environnement sonore) à $LD \geq 73$ dB(A) (pour l'environnement sonore le plus bruyant).
- La distance par rapport au mur antibruit. Rappelons qu'il s'agit de l'interaction entre la période après la pose des murs et la distance par rapport à celui-ci. L'effet attendu de cette variable sur le prix est a priori ambigu. Pour les données CEREMA, nous avons testé les deux modèles suivants :
 - o Dans les modèles M1, la variable est spécifiée sous forme de variables binaires comme il est fréquent dans les études de prix hédoniques. Les variables sont construites par bande de distance de 100m autour des murs : de 0 à 100m du mur (*DIST_MUR_100m*), entre 100 et 200m du mur (*DIST_MUR_200m*) et entre 200 et 300m du mur (*DIST_MUR_300m*).
 - o Dans les modèles M2, la variable mur est spécifiée sous forme de variable continue (*DIST_MUR*), tout en gardant la valeur seuil de 300m.

Afin de tenir compte des effets différents selon la configuration, nous avons séparé chacune de ces variables en deux catégories : côté mur et côté opposé au mur.

- Le niveau de bruit routier (*ROUTE_LDEN_X*) (cas de Noisy-le-Sec/Bondy) ou la distance par rapport à la route (*DIST_ROUTE*) dans le cas de Chelles et Vaires-sur-Marne. Ces variables (gratuitement disponibles auprès de BruitParif) permettent de tenir compte du fait que dans la plupart des cas, les personnes ne sont pas exposées à une seule source de bruit mais à une combinaison d'expositions sonores notamment routière et ferroviaire (situation de multi-exposition). Comme il n'existe pas à l'heure actuelle d'indicateur de multi-exposition au bruit, l'intégration simultanée de ces variables avec celles relatives au bruit ferroviaire dans le modèle constitue une alternative. Dekkers et Willemijn van der Straaten (2009) ont procédé de la même manière. Comme le bruit ferroviaire, ces variables sont également spécifiées sous forme de variables binaires. L'effet attendu sur le prix est négatif.
- Des variables mesurant les aménités environnementales (source IAU-Idf) :
 - o Distance par rapport à un espace vert, forêt ou zone boisée, noté *VERT_X*
 - o Distance par rapport à un fleuve, lac, etc. noté *EAU_X*
- Enfin, deux variables binaires pour chaque commune, notées *NOISY* et *BONDY* dans le cas de Noisy-le-Sec Bondy et *CHELLES* et *VAIRES* dans le cas de Chelles et Vaires-sur-Marne. Ces variables permettent de contrôler toutes les caractéristiques de localisations inobservables, comme cela est fréquemment pratiqué dans les études de prix hédoniques.

Le tableau suivant (tableau 9) résume les différentes variables intégrées dans nos modèles.

Variable	Nature	Nombre*	Modalités*	Source	
VARIABLE EXPLIQUEE					
PRIX					
VARIABLES EXPLICATIVES					
<i>Caractéristiques structurelles et temporelles</i>					
PIECE_X	0/1	5	X=« moins de 3 pièces » à « 7 pièces et plus »	BIEN	
SURFACE	Continue		Variable continue		
GARAGE_X	0/1	3	X=0, 1, 2 et plus		
SLDB_X	0/1	4	X=0, 1, 2 et plus, indéterminé		
EPOQUE_X	0/1	10	X=Avant 1850, [1850-1914[, [1914-1948[, [1948-1970[, [1970-1981[, [1981-1992[, [1992-2001[, [2001-2011[, [2011-2020[, Indéterminée		
JARDIN_X	0/1	3	X=avec, sans ou non renseigné		
ANNEE_X	0/1	5	X=2011 à 2016 (Noisy / Bondy) X=2004 à 2016 (Chelles / Vaires)		
MOIS_X	0/1	12	X=Janvier (1), ..., Décembre (12)		
MAISON	NIVEAU_X	0/1	3		X=1, 2,3 ou plus
	TERRAIN	Continue			
APPARTEMENT	TERRASSE_X	0/1		X=0 : sans terrasse ; X=1 : avec terrasse, X=NR (non renseigné)	
	ETAGE_X	0/1	3	X= <3 ^{ème} étage, >ou=3 ^{ème} étage, NR (Non renseigné)	
	ASCENS_*ETAG E_>3	0/1	3	>ou=3 ^{ème} étage avec ascenseur >ou=3 ^{ème} étage avec ascenseur >ou=3 ^{ème} étage avec ascenseur NR	
<i>Caractéristiques environnementales</i>					
FER_LDEN_X	0/1	6	X=< ou=50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70,>ou=75,	CEREMA	
FER_LN_X	0/1	5	X=< ou=50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70	CEREMA	
FER_LD_X	0/1	6	X=<ou=53, 53-55, 55-58, 58-63, 63-68, >ou=68 dB(A)	SNCF Réseau	
FER_LN_X	0/1	6	X=<ou=53, 53-55, 55-58, 58-63, 63-68, >ou=68 dB(A)	SNCF Réseau	
ROUTE_LDEN_X	0/1	6	X=<55, 55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75 dB(A)	BRUIT-Parif	
DIST_ROUT_X	0/1	6	X=0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300 mètres	SIG	
DIST_MUR_X	0/1	3	X=0-100m, 100m-200m et 200m-300m	SIG + SNCF-Réseau	
DIST_MUR	Continue				
CARACTERISTIQUES D'ACCESSIBILITE					
DIST_TRAIN	Continue			SIG IAU - IDF	
DIST_BUS	Continue				
DIST_CV	Continue				
DIST_AUTO	Continue				

<i>Caractéristiques socio-économique du voisinage</i>				
REVENU	Continue			INSEE - RGP
TX_CADRES	Continue			
TX_OUVRIERS	Continue			
TX_EMPLOYES	Continue			
ZUS_X	Localisation par rapport à une ZUS	3	X=Situé dans un ZUS, Situé dans un rayon de 750m autour d'un ZUS, au-delà de 750m d'un ZUS	SIG
<i>Caractéristiques de localisation inobservées</i>				
COMMUNE_X	Communes	2	X=Bondy, Noisy Ou X=Chelles, Vaires	BIEN

Tableau 9 : Les variables utilisées dans le modèle

*Nombre de modalités, y compris la catégorie de référence.

5.3. La forme fonctionnelle

Dans cette étude, comme dans la plupart des études de prix hédoniques, nous avons testé les formes semi-log et log-log. Cela permet aussi de procéder à une comparaison des résultats obtenus avec la littérature. Après avoir testé les deux spécifications, nous avons finalement retenu le modèle log-log qui présente les meilleurs résultats.

Le modèle log-log lie le logarithme du prix de vente à ses attributs spécifiés soit sous forme de variables continues (en logarithme), soit sous forme de variables binaires. Mathématiquement, la fonction de prix hédonique s'écrit comme suit :

$$\ln(p_i) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \sum_{k=1}^K \ln(z_{ik}) \gamma_k + \varepsilon_i$$

Avec :

$\ln(p_i)$: la fonction de prix hédonique,

p_i : vecteur des prix des logements,

α_0 : terme constant,

ε_i : terme d'erreur stochastique,

x_{ij} et z_{ik} : matrices des observations des caractéristiques. La matrice x_{ij} concerne les caractéristiques (structurelles, temporelles, environnementales et de localisation des logements) introduites sous forme de variables binaires, et la matrice z_{ik} représente les caractéristiques introduites sous forme de variables continues (surface habitable, surface du terrain, revenu médian, distances), présentées dans le tableau ci-dessus.

Les coefficients s'interprètent comme suit. Pour une variable continue, le coefficient β_k correspond à l'élasticité du prix de vente par rapport à la caractéristique k . Ainsi, un accroissement de 1 % de cette caractéristique j entraîne un changement du prix de vente égal à β_j %. Pour les variables binaires, l'interprétation des coefficients nécessite toutefois une petite manipulation mathématique.

Supposons que l'on cherche à étudier l'impact du bruit des trains dans une zone j sur le prix des maisons, alors $x_{ij} = 0$ signifie que le logement i est situé en dehors la zone de bruit j et $x_{ij} = 1$ signifie que le logement est situé dans la zone de bruit j . Une estimation g en pourcentage de l'impact de cette variable sur la variable expliquée (le prix des maisons) est donnée par la formule : $g = 100 (e^{b_j} - 1)$ où b_j est le coefficient relatif à la variable binaire considérée.

6. RÉSULTATS DE L'APPLICATION DE LA MPH : CAS DE NOISY-LE-SEC /BONDY ET CHELLES/VAIRES-SUR-MARNE

Cette section présente deux exemples d'applications empiriques concrètes de la MPH, afin de fournir les premières estimations françaises des valeurs monétaires du bruit ferroviaire ainsi que des murs antibruit. Comme mentionné plus haut, les deux questions que nous traitons sont : 1) quel est l'effet du bruit ferroviaire sur le prix des logements ? 2) L'aspect esthétique du mur a-t-il un impact sur le prix immobilier ?

Les réponses à ces deux questions peuvent être fournies par le biais de l'estimation de la fonction de prix hédoniques liant le prix de vente des maisons et de leurs caractéristiques. Les valeurs obtenues des coefficients affectés aux variables bruit et distance par rapport au mur permettent alors de quantifier l'impact respectif d'une variation de ces variables sur le prix des logements.

Les jeux de données couvrent les transactions immobilières résidentielles (maisons et appartements) réalisées dans deux aires géographiques de la région Ile-de-France : Noisy-le-Sec/Bondy et Chelles/Vaires-sur-Marne.

Se fondant sur ces données, nous proposons en outre de surmonter les problèmes pratiques souvent rencontrés dans les travaux empiriques de cette nature comme l'existence de segments de marché, l'hétéroscédasticité, la potentielle endogénéité de certaines variables²¹, la possible corrélation entre certaines variables explicatives ainsi que l'autocorrélation spatiale. Ces points ont d'ailleurs été soulevés dans la section précédente.

La section s'organise de la manière suivante. Afin de mieux cerner les renseignements que contiennent nos bases de données, il convient d'abord de fournir une description générale des variables qu'elles contiennent. Les résultats obtenus pour chaque terrain étudié sont ensuite présentés successivement. Enfin, la dernière sous-section propose une synthèse comparative des différents résultats.

6.1. Noisy-le-Sec / Bondy

6.1.1. Statistiques descriptives

Dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy, les données dont nous disposons couvrent la période allant de l'année 2011 à l'année 2016, soit deux années avant et deux années après la pose des murs antibruit.

Examinons d'abord les statistiques descriptives. Les tableaux suivants (tableaux 10 et 11) présentent la description de certaines caractéristiques (pour les variables continues) de nos échantillons de maisons et d'appartements.

Caractéristiques des maisons : Noisy-le-Sec et Bondy								
Variables	Moyenne	Mode	Ecart type	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25	50	75
PRIX ^b	249167,6	180265,6 ^a	78138,9	71022,7	841300,1	200764,8	239564,4	287907,8
ANNEE	2013,5	2011,0	1,7	2011,0	2016,0	2012,0	2014,0	2015,0

²¹ Ces variables sont « niveau de bruit » et « distance par rapport au mur », voir ci-après

MOIS	6,8	7,0	3,4	1,0	12,0	4,0	7,0	10,0
SURFACE	91,2	100,0	33,3	27,0	300,0	70,0	89,0	106,0
TERRAIN	316,3	250,0	552,6	29,0	16290,0	193,5	267,0	362,0
PIECE	4,4	4,0	1,4	1,0	12,0	3,0	4,0	5,0
SLDB	1,2	1,0	0,6	0,0	5,0	1,0	1,0	1,0
NIVEAU	1,9	2,0	0,6	0,0	4,0	2,0	2,0	2,0
GARAGE	0,7	1,0	0,6	0,0	6,0	0,0	1,0	1,0
REVENU	17101,1	18709,0	3392,6	0,0	22439,0	15861,0	17523,0	18709,0
DIST_TRAIN	1047,2	605,99 ^a	495,3	151,8	2184,9	614,6	979,4	1514,7
DIST_CV	1070,9	720,58 ^a	431,0	32,2	2085,0	720,6	1092,6	1404,5
DIST_AUTO	832,2	1154,2	553,9	5,6	1951,6	361,9	733,4	1304,0
FER_LD (SNCF)	54,0	53,0	3,3	53,0	78,0	53,0	53,0	53,0
FER_LN (SNCF)	46,3	43,00	6,1	43,0	73,0	43,0	43,0	48,0
FER_LDEN (CEREMA)	59,3	55,0	6,9	48,5	94,5	55,0	55,0	65,0
FER_LN (CEREMA)	51,1	45,0	7,8	45,0	70,0	45,0	45,0	60,0
ROUTE_LDEN	57,8	55,0	5,8	50,0	75,0	55,0	55,0	60,0
DIST_MUR	837,7	1606,7	565,2	3,1	2106,1	347,4	675,8	1315,2

Tableau 10 : Description des caractéristiques des maisons : cas de Noisy-le-Sec et Bondy

^a Existence de plusieurs modes. La valeur minimale est affichée.

^b Prix en euros 2010. Notons cependant que dans l'analyse hédonique, nous ne déflatons pas le prix.

Caractéristiques des appartements : Noisy-le-Sec et Bondy								
Variables	Moyenne	Mode	Ecart type	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25	50	75
PRIX ^b	135029,5	99457,5	43067,3	22065,3	430107,5	105311,4	131917,8	158870,3
ANNEE	2013,3	2011,0	1,7	2011,0	2016,0	2012,0	2013,0	2015,0
MOIS	6,3	3,0	3,5	1,0	12,0	3,0	6,0	9,0
SURFACE	54,7	47,0	19,5	13,0	166,0	41,0	55,0	67,0
PIECE	2,7	3,0	1,0	1,0	7,0	2,0	3,0	3,0
ETAGE	2,1	1,0	1,8	-1,0	11,0	1,0	2,0	3,0
SLDB	1,0	1,0	0,3	0,0	2,0	1,0	1,0	1,0
GARAGE	0,6	1,0	0,6	0,0	3,0	0,0	1,0	1,0
REVENU	17047,4	18905,0	3283,7	0,0	22439,0	15671,0	18177,0	18709,0
TX_CHOMAGE	21,9	21,0	6,8	13,2	61,8	17,6	21,0	25,5
DIST_TRAIN	843,7	585,3	431,8	57,4	2184,9	536,7	734,3	1101,7
DIST_AUTO	682,5	618,6	409,7	5,6	1958,7	404,7	618,6	1014,0
DIST_BUS	124,6	150,0	64,7	7,3	314,8	67,9	131,5	159,6
FER_LD (SNCF)	49,3	48	3,8	48,0	73,0	48,0	48,0	48,0
FER_LN (SNCF)	45,7	43,0	5,4	43,0	73,0	43,0	43,0	48,0
FER_LDEN (CEREMA)	59,3	55,0	6,9	48,5	94,5	55,0	55,0	65,0
FER_LN (CEREMA)	51,4	45,0	8,2	45,0	70,0	45,0	45,0	55,0
ROUTE_LDEN	60,8	65,0	6,3	50,0	75,0	55,0	60,0	65,0
DIST_MUR	719,2	589,0	492,2	7,3	2105,9	307,8	589,0	1057,6

Tableau 11 : Description des caractéristiques des appartements : cas de Noisy-le-Sec et Bondy

^a Existence de plusieurs modes. La valeur minimale est affichée.

^b Prix en euros 2010.

Notons cependant que dans l'analyse hédonique, nous ne déflatons pas le prix.

Notre échantillon de 1 087 transactions de maisons comporte un large éventail de niveaux de prix. Le prix moyen est de 249 168 € et le prix des maisons varie entre 71 023 € et 841 300 €. 50% des maisons ont été acquises avant 2014. Elles ont en moyenne une surface habitable de 91 m² sur un terrain de 316,3 m², 4 pièces, 1 salle de bain, un garage et deux niveaux. Les maisons moyennes sont localisées à environ un kilomètre de la gare de RER (1 047 mètres) et du centre-ville de sa commune (1 070 mètres et dans un quartier où le niveau de vie est inférieur à la médiane nationale, avec un revenu disponible médian par ménage d'environ 17 100 € en 2013 (contre 20 000 € pour la France)²². Elle est exposée à un niveau de bruit ferroviaire et routier modéré (bruit ferroviaire : LDEN 59,3 dB(A)

²² Source : INSEE première, paru le 22/09/2013 : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1370899>

et route LDEN 57,8 dB(A)). Enfin, parmi les transactions réalisées après la pose des murs antibruit, la maison moyenne est localisée à plus de huit cents mètres de celui-ci (837m).

Notre échantillon d'appartements à Noisy-le-Sec et Bondy quant à lui comporte 1 609 transactions, qui coûtent en moyenne 135 030 € (minimum 22 065 € ; maximum 430 108 €). Ils ont en moyenne une superficie de 55 m², 3 pièces (2,7), une salle de bain, un garage (0,6) et sont situés au deuxième étage. En moyenne, les appartements sont situés à environ 850m d'une station de train (843,7m) et dans un quartier bien desservi par les bus car la distance moyenne par rapport à une station de bus est de 125m. Cependant comme dans le cas des maisons, il est localisé dans un quartier où le niveau de vie est inférieur à la médiane nationale (17 047 € en 2013). Il bénéficie également d'un environnement sonore modéré, avec un niveau de bruit ferroviaire de LDEN 59,3 dB(A) et LN (51,4) dB(A) et un niveau de bruit routier de LDEN 60,8 dB(A). Parmi les transactions réalisées après la pose des murs, un appartement moyen est situé à 719 m de cette infrastructure.

6.1.2. Résultats des régressions

A partir de cette section, nous présentons successivement nos résultats des régressions obtenus à partir de la spécification log-log sur les 1 087 transactions de maisons et 1 609 transactions d'appartements et en utilisant les données Bruit du CEREMA (source A). Présentons tout d'abord certains éléments essentiels.

Concernant le choix des caractéristiques structurelles : dans les modèles de régression multiples, deux critères sont principalement utilisés pour sélectionner le meilleur modèle : le critère AIC (*Akaike Information Criterion*) et le critère BIC (*Bayesian Information Criterion*). Ces critères peuvent être vus comme des critères sélectionnant le modèle et réalisant le meilleur compromis entre ajustement aux données et parcimonie du modèle. Dans notre cas cependant, le nombre de variables explicatives x initialement prévues étant grand, il n'est pas raisonnable de penser explorer les différents modèles possibles afin de sélectionner le meilleur au sens du critère AIC ou BIC. La stratégie adoptée, parmi les algorithmes de sélection de variables disponibles est alors la procédure automatique descendante (*backward*). L'algorithme démarre du modèle complet (c'est-à-dire avec toutes les variables choisies). À chaque étape, la variable associée avec la plus grande p-value est éliminée du modèle. La procédure s'arrête lorsque les variables restant dans le modèle ont des p-value plus petites qu'un seuil fixé par défaut à 0,10. Les variables de niveau sonores, de distances par rapport au mur ainsi que les autres variables environnementales sont ensuite intégrées.

Les tableaux 12 et 14 rapportent les résultats issus de nos estimations. Ainsi, toutes les variables sélectionnées et présentées dans le tableau 9 ci-dessus ne figurent pas dans le modèle final. On constate cependant que les variables « bruit » et « distance » par rapport aux murs sont toujours présentes.

Pour tester l'éventuel problème d'endogénéité des variables distances par rapport au mur et bruit ferroviaire, nous utilisons la méthode en deux étapes de Heckman (Heckman (1979)). Cette procédure consiste dans un premier temps à estimer une équation de sélection Probit pour les variables suspectées d'endogénéité. Cette étape permet de calculer le hasard de non-sélection (inverse du ratio de Mills noté λ). Dans un second temps, les équations de régression pour le prix intègrent ce paramètre additionnel. Si l'inverse du ratio de Mills est significatif, il y a un biais d'endogénéité. Le maintien de la variable λ dans la régression corrige ce biais. Le tableau ci-dessous présente les résultats des estimations de l'équation de sélection Probit et de la MCO pour les variables Distance au mur et Bruit.

λ	Maison			Appartement		
	Coef.	t	Sig.	Coef.	T	Sig.
Bruit ferroviaire	-0,0052	-0,9838	0,3255	-0,0004	-0,0189	0,9849
Distance par rapport au mur	-0,0208	-0,3774	0,7060	-0,0234	-1,0457	0,2960

On voit donc que dans l'équation d'estimation par la MCO, aucun des coefficients de la variable λ relatif à la variable bruit ferroviaire et distance par rapport au mur antibruit n'est significatif (la colonne Sig. indique des valeurs supérieures à 0,05). Nous concluons donc à l'absence de problème d'endogénéité et n'avons donc pas utilisé la procédure en deux étapes pour les estimations hédoniques.

Les qualités des ajustements statistiques sont tout à fait correctes ; elles sont conformes à ce qui est obtenu dans la littérature pour ce type d'analyse. Le coefficient de corrélation (R^2 ajusté) indique la part de la variance de la variable dépendante (le prix des maisons ou des appartements) qui est expliquée par le modèle. Plus ce coefficient est proche de 1, meilleure est la qualité de l'ajustement. Nous obtenons ici des valeurs avoisinantes de 0,60 pour les maisons et 0,70 pour les appartements, ce qui signifie que les attributs que nous avons considérés expliquent 60 % et 70% du prix observé des maisons et de celui des appartements, respectivement.

Nous avons diagnostiqué l'existence possible de multicolinéarité entre les variables explicatives du modèle en regardant les statistiques des VIF (variance inflation factor). Celles-ci sont présentées dans les tableaux 13 (maisons) et 15 (appartements). Une valeur de la statistique VIF égale à 1 correspond à l'absence totale de multicolinéarité. Si elle est proche de 10, c'est problématique. Ici, toutes les valeurs des VIF sont relativement faibles (proches de 1, en particulier pour les variables distances par rapport au mur et niveau de bruit), ce qui suggère que la multicolinéarité n'est pas un problème sérieux. Le diagnostic des coefficients de corrélation de Pearson entre les variables « distance » par rapport au mur et « niveau de bruit » confirme l'absence de corrélation entre les deux variables.

Nous avons également testé l'hypothèse d'éventuelle présence de problème d'autocorrélation spatiale sur les résidus de la MCO. Pour ce faire, nous avons appliqué le test de Moran, à l'aide du logiciel SPACESTAT. Les résultats de ce test (avec la méthode de définition du voisinage basée sur la distance) montrent que, pour chaque type de biens, les statistiques I de Moran ne sont pas significatives au seuil de 5% (par exemple, avec le modèle 1, pour la matrice de distance $d=50m$, $I=0,0104$ (P value=0,0740) pour les maisons et $I=0,0510$ (P value = 0,0620) pour les appartements)²³. Nous pouvons donc accepter l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation spatiale.

L'application du test de Breush-Pagan a cependant conduit à rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'hétéroscédasticité des résidus (maisons : $P_i = 0,004$; appartement $P_i=0,000$). Ainsi, nous contrôlons ce problème en estimant de façon robuste les écarts-types des coefficients (correction suggérée par, White, 1980).

Enfin, le signe de chaque coefficient indiquant le sens de la relation entre le prix et la variable est conforme à notre intuition. Dans notre cas, une valeur de B négative indique une réduction du prix des logements, à l'inverse une valeur positive indique une augmentation.

²³ Notons que plusieurs matrices de distances ont été testées ($d=50, 100, 150, 200 m$), comme cela est fréquent dans les études de prix hédoniques.

Ces considérations nous permettent de passer à l'interprétation des résultats. La valeur de chacun des coefficients nous informe sur le degré auquel chaque variable influence le prix si toutes les autres caractéristiques sont constantes. Seuls les coefficients relatifs à l'impact du bruit et des murs antibruit seront interprétés ici.

Pour toutes les régressions (maisons et appartements de Noisy-le-Sec / Bondy et Chelles / Vaires-sur-Marne) :

- La catégorie de référence de la variable Bruit est « <65 dB(A) »
- La catégorie de référence pour la variable Distance au mur est « >300m »

Résultats des régressions : Maison Noisy-le-Sec et Bondy								
	Modèle 1				Modèle 2			
	Coef.	P>t ^a	Std. Err.	Effet observé ^b	Coef.	P>t ^a	Std. Err.	Effet observé ^b
(Constante)	8,4662		0,6438		8,72662		0,58913	
ANNEE_2011	0,0401	***		4,1%				
ANNEE_2012	0,0426	**	0,02	4,4%	0,05315	***	0,02027	5,5%
PIECE_3M	-0,0903	****	0,0242	-8,6%	-0,10923	****	0,02219	-10,3%
GARAGE_0	-0,0618	****	0,0151	-6,0%	-0,06019	****	0,01407	-5,8%
SLD_0	-0,0629	***	0,0313	-6,1%	-0,08735	****	0,03066	-8,4%
NIVEAU_2	0,0744	****	0,02	7,7%	0,067	****	0,01848	6,9%
NIVEAU_3	0,1096	****	0,028	11,6%	0,11773	****	0,02559	12,5%
TYPE_NR	-0,0957	*	0,0517	-9,1%				
TYPE_VI	0,3499	**	0,1387	41,9%	0,28963	**	0,14444	33,6%
LN_TERRAIN	0,1598	****	0,0135	0,2%	0,17624	****	0,0127	0,2%
LN_SURFACE	0,3848	****	0,0332	0,4%	0,31867	****	0,03046	0,3%
BONDY	-0,1572	****	0,0152	-14,5%	-0,14147	****	0,01401	-13,2%
LN_REVENU	0,1969	****	0,0606	0,2%	0,18993	****	0,05498	20,9%
LN_DIST_GARE	-0,0540	**	0,0163	-0,1%	-0,05988	****	0,01504	-5,8%
ROUTE_65	-0,0566	***	0,0204	-5,5%	-0,05062	****	0,01876	-4,9%
ROUTE_70	-0,0660	***		-6,4%				
ROUTE_75	-0,1641	**	0,0691	-15,1%	-0,14761	**	0,07218	-13,7%
FER_LDEN_65	-0,0561	****	0,0197	-5,5%	-0,05301	***	0,01976	-5,2%
FER_LDEN_70	-0,0844	***	0,0276	-8,1%	-0,07476	***	0,02906	-7,2%
FER_LDEN_75	-0,1042	***	0,0401	-9,9%	-0,10657	***	0,03525	-10,1%
DIST_MUR_100	-0,1287	*	0,0781	-12,1%				
DIST_MUR_100_200	NS							
DIST_MUR_20_300	NS							
DIST_MUR					-0,00078	*	0,14774	-0,1%
DIST_MUR*DIST_MUR					0	*	0,64	0,0%
R								
Number of obs			1087				933	
F(22, 1087)			52,61				60,37	
Prob > F			0				0	
R-squared			0,6211				0,6044	
Adj R-squared			0,6093				0,5943	
Root MSE			0,1891				0,1982	
AIC			-337,0539				-348,7301	
BIC			-231,4454				-232,6084	

60

Tableau 12 : Résultats des régressions : cas des Maisons à Noisy-le-Sec et Bondy

Note :

Modèle 1 : La variable distance par rapport au mur antibruit est spécifiée sous forme de variable binaire.

Modèle 2 : La variable distance par rapport au mur est spécifiée sous forme de variable continue.

^a: Les signes indiquent le degré de significativité des coefficients. **** : significatif à 0,1% ; *** : significatif à 1% ; ** : significatif à 5% et * : significatif à 10%.

^b : Effet observé sur le prix (en %), calculé à partir des coefficients de régressions.

Source : calculs des auteurs réalisés à partir de la base des données résultant de la fusion de la base BIEN (2011-2016) avec les caractéristiques socioéconomiques des IRIS fournies par l'INSEE, les caractéristiques d'accessibilité et d'environnement physique calculés à l'aide du SIG MAPINFO en utilisant les données de l'IAU-Idf, les niveaux de bruit ferroviaire issus de la cartographie fournie par le CEREMA ainsi que les niveaux de bruit routier issus de la cartographie Stratégique du bruit routier.

Statistique de colinéarité : Maison Noisy-Bondy				
	Modèle 1		Modèle 2	
	VIF	Tolérance	VIF	Tolérance
ANNEE_2012	1,171	0,854	1,140	0,877
ANNEE_2014	1,171	0,854	1,146	0,873
ANNEE_2015	1,113	0,899	1,124	0,890
PIECE_3M	2,225	0,449	2,191	0,456
GARAGE_0	1,118	0,895	1,116	0,896
SLD_0	1,060	0,944	1,047	0,955
NIVEAU_2	1,892	0,529	1,911	0,523
NIVEAU_3	1,969	0,508	2,064	0,484
JARDIN_N	1,048	0,955	1,051	0,951
TYPE_NR	1,025	0,975	1,017	0,983
TYPE_VI	1,073	0,932	1,060	0,943
ln_terrain	1,236	0,809	1,273	0,786
ln_SURFACE	2,317	0,432	2,364	0,423
BONDY	1,129	0,885	1,135	0,881
LN_REVENU	1,209	0,827	1,227	0,815
LN_DIST_GARE	1,495	0,669	1,517	0,659
ROUTE_65	1,083	0,923	1,060	0,944
ROUTE_75	1,058	0,945	1,052	0,951
FER_LDEN_65	1,228	0,814	1,238	0,808
FER_LDEN_70	1,231	0,812	1,244	0,804
FER_LDEN_75	1,158	0,864	1,153	0,867
DISTANCE_MUR	1,029	0,971	14,897	0,067
DISTANCE_MUR_CARRE			14,751	0,068

Tableau 13: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Noisy-le-Sec et Bondy

Résultats des régressions : Appartement Noisy-le-Sec et Bondy

	Modèle 1				Modèle 2			
	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %
(Constante)	11,9091		0,6882		12,2141	****	0,6941	
ANNEE_2012	-0,0259	**	0,0148	-2,6%	-0,0284	*	0,0148	-2,8%
ANNEE_2013	-0,0754	****	0,0157	-7,3%	-0,0757	****	0,0157	-7,3%
ANNEE_2014	-0,1047	****	0,0146	-9,9%	-0,11	****	0,0146	-10,4%
ANNEE_2015	-0,1065	****	0,0159	-10,1%	-0,1148	****	0,0156	-10,8%
ANNEE_2016	-0,1484	****	0,0169	-13,8%	-0,1592	****	0,0161	-14,7%
EPOQUE_G	0,0779	****	0,0181	8,1%	0,0764	****	0,0181	7,9%
EPOQUE_H	0,1312	****	0,0213	14,0%	0,131	****	0,0212	14,0%
EPOQUE_I	0,2429	**	0,0944	27,5%	0,244	**	0,0942	27,6%
TERRASSE_NR	-0,0221	**	0,0102	-2,2%	-0,0219	**	0,0102	-2,2%
TERRASSE_O	0,0786	****	0,0194	8,2%	0,0796	****	0,0194	8,3%
JARDIN_NR	0,0702	****	0,0184	7,3%	0,0705	****	0,0184	7,3%
JARDIN_O	0,1191	****	0,0262	12,6%	0,1204	****	0,0262	12,8%
LN_SURFACE	0,6606	****	-0,0122	0,7%	0,662	****	-0,0122	0,7%
NOISY	0,062	****	0,0122	6,4%	0,0641	****	0,0124	6,6%
LN_REVENU	0,0722	*	0,0389	0,1%	0,0752	**	0,0387	-0,1%
LN_DIST_RER	-0,0365	***	0,0115	0,0%	-0,0405	****	0,0116	0,0%
TX_ETRANGERS	-0,0057	****	0,0016	-0,6%	-0,0056	****	0,0016	-0,6%
ROUTE_LDEN_65	-0,0235	**	0,0109	-2,3%	-0,0248	**	0,0109	-2,5%
ROUTE_LDEN_70	-0,0365	**	0,0163	-3,6%	-0,037	**	0,0163	-3,6%
ROUTE_LDEN_75	-0,1816	****	0,044	-16,6%	-0,1886	****	0,044	-17,2%
FER_LDEN_65	NS							
FER_LDEN_70	-0,0591	**	0,02	-5,7%	-0,0581	***	-0,0208	-5,6%
FER_LDEN_75	-0,0759	**	0,0358	-7,3%	-0,0658	**	0,0363	-6,4%
FER_LDEN_75_ET3 ^c	-0,1293	**	0,0657	-12,1%	-0,1265	**	0,0656	-11,9%
DIST_MUR_0_200m	-0,0481	*	0,0253	-4,7%				
DIST_MUR_200_300m	NS							
DIST_MUR_C					-0,0009	***	0,0003	
DIST_MUR_C*DIST_MUR_C					0	**	0	
Number of obs				160900,0				160900,0
				%				%
F(32, 1576)				9179,0%				92,33
Prob > F				0,0%				0,0%
R-squared				71,1%				71,2%
Root MSE				18,5%				18,4%
AIC				83806,5%				84270,1%
BIC				-				-66505,0%
				66041,4%				

Tableau 14: Résultats des régressions : cas des Appartements à Noisy-le-Sec et Bondy

Note :

Modèle 1 : La variable distance par rapport au mur antibruit est spécifiée sous forme de variable binaire.

Modèle 2 : La variable distance par rapport au mur est spécifiée sous forme de variable continue.

^a: Les signes indiquent le degré de significativité des coefficients. **** : significatif à 0,1% ; *** : significatif à 1% ; ** : significatif à 5% et * : significatif à 10%.

^b : Effet observé sur le prix (en %), calculé à partir des coefficients de régressions. ^c : Concerne les étages supérieur ou égal à 3.

Source : calculs des auteurs réalisés à partir de la base des données résultant de la fusion de la base BIEN (2011-2016) avec les caractéristiques socioéconomiques des IRIS fournies par l'INSEE, les caractéristiques d'accessibilité et d'environnement physique calculées à l'aide du SIG MAPINFO en utilisant les données de l'IAU-Idf, les niveaux de bruit ferroviaire issus de la cartographie fournie par le CEREMA ainsi que les niveaux de bruit routier issus de la cartographie Stratégique du bruit routier.

	Modèle 1		Modèle 2	
	VIF	1/VIF	VIF	1/VIF
ANNEE_2012	1,445	0,692	1,448	0,691
ANNEE_2013	1,420	0,704	1,426	0,701
ANNEE_2014	1,472	0,680	1,475	0,678
ANNEE_2015	1,492	0,670	1,438	0,695
ANNEE_2016	1,613	0,620	1,470	0,680
EPOQUE_G	1,110	0,901	1,110	0,901
EPOQUE_H	1,169	0,855	1,167	0,857
EPOQUE_I	1,050	0,952	1,048	0,954
TERRASSE_NR	1,184	0,845	1,186	0,843
TERRASSE_O	1,171	0,854	1,169	0,856
JARDIN_NR	1,909	0,524	1,913	0,523
JARDIN_O	1,778	0,563	1,778	0,562
NOISY	1,755	0,570	1,809	0,553
LN_REVENU	3,667	0,273	3,717	0,269
LN_DIST_RER	1,755	0,570	1,792	0,558
TX_ETRANGERS	2,135	0,468	2,170	0,461
ROUTE_LDEN_65	1,269	0,788	1,275	0,784
ROUTE_LDEN_70	1,319	0,758	1,318	0,759
ROUTE_LDEN_75	1,409	0,710	1,414	0,707
FER_LDEN_70	1,473	0,679	2,211	0,452
FER_LDEN_75	1,585	0,631	1,635	0,611
FER_LDEN_75_ET3	1,394	0,717	1,394	0,717
DIST_MUR_O_250m	1,336	0,748		
DIST_MUR_C			13,475	0,074
DIST_MUR_C*DIST_MUR_C			11,125	0,090

Tableau 15: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des appartements à Noisy-le-Sec et Bondy

6.1.3. Interprétation des résultats

Cas des maisons

Intéressons-nous tout d'abord au cas des maisons. Les variables de contrôle retenues dans le modèle final sont au nombre de 22. Il ressort des résultats une relation entre prix des maisons et le niveau de bruit ainsi que les distances par rapport au mur antibruit.

Concernant le niveau de bruit, les coefficients affectés aux variables zones de bruit sont négatifs et significatifs à partir de 65 dB(A) (données CEREMA), ce qui signifie que l'exposition au bruit tend à diminuer le prix des maisons, toutes choses égales par ailleurs. Ainsi, par rapport à une maison exposée à un niveau de bruit inférieur à LDEN 65 dB(A) :

- le fait d'être situé dans la zone entre LDEN 65 et 70 dB(A) se traduit par une baisse de 5,5% du prix ;
- le fait d'être situé dans la zone entre LDEN 70 et 75 dB(A) engendre une baisse de 8,1% du prix ;
- et le fait d'être situé dans la zone exposée à plus de LDEN 75 dB(A) se traduit par une dépréciation de 9,9% du prix des maisons.

De façon similaire, si l'on considère la régression ayant pour variable bruit ferroviaire, les données provenant des calculs effectués par SNCF Réseau, il apparaît que les coefficients sont négatifs, à partir de la zone 58-63 dB(A) : le bruit mesuré à l'aide de l'indice LD a un impact négatif sur le prix des maisons. Cet impact varie de -6,38% dans la zone LD 58-63 dB(A) à 10,39% dans la zone LD 68-73 dB(A) en passant par 8,92% dans la zone entre LD 63 et 68 dB(A).

Les valeurs estimées des coefficients nous montrent en outre que les maisons situées à moins de 100 mètre des murs antibruit ont un prix de vente inférieur de 12,1% à celles des maisons situées loin des murs (située à plus de 300m de ceux-ci), toutes choses égales par ailleurs. En revanche, on constate que le fait d'être situé entre 100 à 200 et 200 à 300m du mur n'a pas d'impact significatif sur les prix des maisons. Notons que le fait que ces dernières variables n'apparaissent pas comme significatives illustre simplement le fait que la localisation des maisons dans ces zones n'implique pas un changement du niveau de prix.

Cas des appartements

Concernant les appartements, les variables de contrôle finalement retenues sont au nombre de 32. Comme dans le cas des maisons, il ressort des résultats une relation significative entre prix des maisons et le niveau de bruit ainsi que la distance par rapport au mur antibruit.

Concernant le niveau de bruit, les coefficients affectés aux variables zones de bruit sont négatifs et significatifs à partir de 70 dB(A) (données CEREMA), ce qui signifie que l'exposition au bruit tend à diminuer le prix des appartements, toutes choses égales par ailleurs. Ainsi, par rapport à un appartement exposé à un niveau de bruit inférieur à LDEN 65 dB (A) :

- le fait d'être situé dans la zone entre LDEN 70 et 75 dB(A) se traduit par une baisse de 5,7% du prix ;
- le fait d'être situé dans la zone > 75 dB(A) engendre une baisse de 7,3% du prix ;
- cependant, si l'appartement est situé à un étage élevé (3^{ème} étage et plus), le fait d'être situé dans cette dernière zone (>75 dB(A)) se traduit par une dépréciation de 12,1%, toutes choses égales par ailleurs.

De la même façon, si l'on considère la régression ayant pour variable bruit ferroviaire, les données provenant des calculs effectués par SNCF Réseau, il apparaît que les coefficients sont également négatifs, mais cette fois-ci à partir de la zone 63-68 dB(A). Le fait d'être situé dans la zone LD 63 et 68 dB(A) se traduit par une baisse de 4,9 % du prix, toutes choses égales par ailleurs. Le fait d'être situé dans la zone LDAy 68-73 dB(A) engendre, toutes choses égales par ailleurs, une baisse de 11,52% du prix. Le coefficient de la variable niveau de bruit croisé avec l'étage n'est pas significatif.

Concernant à présent les variables « distance » par rapport au mur antibruit, il apparaît également un impact négatif de cette variable. La variable distance par rapport au mur est significative et dotée d'un coefficient négatif : le fait d'être situé dans la bande de distance entre 0 et 200m du mur a un impact négatif de l'ordre de 4,7% sur le prix des appartements.

6.2. Chelles et Vaires-sur-Marne

6.2.1. Statistiques descriptives

Intéressons-nous maintenant au cas de Chelles et de Vaires-sur-Marne. Les données dont nous disposons couvrent la période allant de l'année 2004 à l'année 2016. Comme dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy, les maisons et les appartements sont analysés séparément.

Les tableaux 16 et 17 présentent la description de certaines caractéristiques des maisons et d'appartements constituant notre échantillon respectif.

Caractéristiques des maisons : Chelles et Vaires sur Marne						
Variab	Moyenne	Mode	Ecart	Minimum	Maximum	Percentiles

64

			type			25	50	75
PRIX (euros 2010)	273908	227920,23 ^a	72087,2	31770,8	1011122,3	230490,5	264957,3	312395,8
ANNEE	2008,7	2005 ^a	3,2	2004,0	2016,0	2006,0	2009,0	2011,0
MOIS	6,8	7,0	3,3	1,0	12,0	4,0	7,0	9,0
SURFACE	103,8	100,0	34,3	30,0	320,0	80,0	100,0	120,0
TERRAIN	459,8	500,0	359,0	20,0	8403,0	318,0	424,0	529,0
PIECE	4,9	5,0	1,4	1,0	10,0	4,0	5,0	6,0
SLDB	1,4	1,0	0,6	0,0	4,0	1,0	1,0	2,0
NIVEAU	1,9	2,0	0,6	0,0	4,0	2,0	2,0	2,0
GARAGE	0,9	1,0	0,5	0,0	4,0	1,0	1,0	1,0
REVENU	22657,2	26157,0	3072,4	16978,0	27384,0	19967,0	22903,0	25013,0
DIST_TRAIN	1651,4	3264,0	1039,2	42,5	3826,8	729,9	1355,1	2479,8
DIST_ROUTE	1234,0	2718,4	851,2	0,2	3109,7	588,6	1061,1	1639,2
DIST_BUS	869,9	1621,1	581,0	5,0	2493,9	369,1	801,3	1234,8
DIST_EAU	2137,7	3924,5	1192,0	45,5	4389,6	1095,3	1906,1	3097,6
DIST_BOIS	384,1	320,3	197,2	1,3	940,2	246,1	377,2	534,2
FER_LDEN (CEREMA)	54,6	52,5	3,8	42,5	77,5	52,5	52,5	57,5
FER_LN (CEREMA)	49,1	47,5	3,8	37,5	72,5	47,5	47,5	47,5
DIST_MUR	1376,7	3192,5	1080,9	37,7	3641,1	441,1	916,9	2134,7

Tableau 16 : Description des caractéristiques des maisons : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne

^a Existence de plusieurs modes. La valeur minimale est affichée.

^b Prix en euros 2010. Notons cependant que dans l'analyse hédonique, nous ne déflatons pas le prix.

Caractéristiques des appartements : Chelles et Vaires-sur-Marne								
Variables	Moyenne	Mode	Ecart type	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25	50	75
PRIX (EUROS 2010)	160292,8	154321,0	40506,6	14788,7	418527,6	136774,1	157407,4	182098,8
ANNEE	2008,9	2010,0	3,1	2004,0	2016,0	2006,0	2009,0	2011,0
MOIS	6,6	12,0	3,4	1,0	12,0	4,0	7,0	9,0
SURFACE	62,7	68,0	18,5	10,0	177,0	50,0	63,0	77,0
PIECE	3,1	3,0	1,0	1,0	6,0	2,0	3,0	4,0
ETAGE	2,8	1,0	2,6	-1,0	23,0	1,0	2,0	4,0
SLDB	1,0	1,0	0,2	0,0	3,0	1,0	1,0	1,0
GARAGE	0,7	1,0	0,6	0,0	5,0	0,0	1,0	1,0
REVENU	20745,1	18515,0	2580,9	16978,0	27384,0	18515,0	20344,0	22903,0
DIST_TRAIN	836,2	439,6	465,6	42,5	3691,8	442,7	852,4	1120,2
DIST_BOIS	296,7	495,5	179,7	2,1	802,1	127,4	286,1	421,6
DIST_ROUTE	590,5	221,4	511,2	0,2	3109,7	213,2	390,5	962,6
DIST_RER	409,1	83,3	355,0	5,0	2339,9	161,0	272,9	567,1
DIST_EAU	1298,3	716,3	682,9	45,5	4389,6	716,3	1248,0	1871,5
FER_LDEN (CEREMA)	55,1	52,5	4,5	42,5	77,5	52,5	52,5	57,5
FER_LN (CEREMA)	49,1	47,5	3,8	37,5	72,5	47,5	47,5	47,5
DIST_MUR	648,3	305,1	469,5	7,1	3641,1	305,1	598,4	857,9

Tableau 17: Description des caractéristiques des appartements : cas de Chelles et Vaires-sur-Marne

^a Existence de plusieurs modes. La valeur minimale est affichée.

^b Prix en euros 2010. Notons cependant que dans l'analyse hédonique, nous ne déflatons pas le prix.

L'étude a été menée auprès d'un échantillon de 2 931 transactions de maisons qui coûtent en moyenne 273 908 € (minimum = 31 770 ; maximum = 1 011 122 €). La maison moyenne a été acquise en 2009 et possède une superficie de 104 m² avec un terrain de 460 m², 5 pièces, 1 garage, une salle de bain et deux niveaux. La maison moyenne est localisée à plus de 1,5 km de la gare (1 651m). Bien entendu, de par cet éloignement par rapport à la gare, elle bénéficie d'un environnement sonore assez calme (LDEN 54,6 dB(A) et LN 49,1 dB(A)). Elle est localisée dans un quartier plus aisé par rapport à la moyenne nationale (revenu disponible médian par unité de consommation en 2013 = 22 657 € contre 20 000 € pour la France). Enfin, la distance moyenne par rapport au mur antibruit est de 1 376 m (cette variable concerne seulement les transactions réalisées après la pose des murs).

Concernant les appartements, l'étude a été menée auprès d'un échantillon de 3 337 transactions, dont le prix moyen est de 160 293 € (minimum = 14 789 € et maximum = 418 528 €). L'appartement moyen comprend 3 pièces et dispose d'une surface habitable de 63 m². Il possède un garage, une salle de bain et est situé au 3^{ème} étage. Il est localisé à moins d'un kilomètre de la gare (836m) et à moins de 500m d'une station de bus (409m). Il est localisé dans un quartier où le niveau social des habitants est légèrement favorable par rapport à la moyenne nationale (revenu disponible médian par unité de consommation en 2013 = 20 745 €). Comme pour le cas des maisons, il bénéficie d'un environnement sonore assez calme (LDEN = 55,1 DB(A) et LN = 49,1 dB(A)). Enfin, parmi les transactions réalisées après la pose des murs antibruit, la distance par rapport au mur est en moyenne de 648 m.

6.2.2. Résultats des régressions

Dans le cas de Chelles et de Vaires-sur-Marne, la méthode a été effectuée selon les mêmes critères de sélection des variables explicatives appliquées sur Noisy-le-Sec et Bondy (procédure *backward*).

De même, les fonctions de prix hédoniques estimées reposent sur une spécification log-log de la relation entre le prix des maisons et des appartements et de leurs différentes caractéristiques. Comme dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy, il n'y a pas de problème d'endogénéité de nos variables d'intérêts (niveau de bruit ferroviaire et distance par rapport au mur antibruit). Voici les résultats du test d'endogénéité pour Chelles et Vaires-sur-Marne :

λ	Maison			Appartement		
	Coef.	t	Sig.	Coef.	t	Sig.
Bruit ferroviaire	-0,0035	-0,1783	0,8585	-0,0255	-1,1727	0,2413
Distance par rapport au mur	-0,1162	-1,2650	0,2063	-0,0038	-0,1900	0,8480

Comme pour la zone de Noisy / Bondy, on voit donc que dans l'équation d'estimation de sélection, aucun des coefficients λ de ces deux variables n'est significatif (la colonne Sig indique des valeurs supérieures à 0,05). Nous concluons donc à l'absence de problème d'endogénéité et n'avons donc pas utilisé la procédure en deux étapes pour les estimations hédoniques.

Nous pouvons donc estimer nos modèles par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) avec estimation robuste des écarts-types corrigés selon la méthode de White (1980) pour tenir compte de l'hétéroscédasticité des résidus. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 18 (maisons) et 20 (appartements) ci-dessous.

En regardant les conventions statistiques usuelles, les résultats de la régression se révèlent bons : les différentes variables indépendantes retenues dans le modèle expliquent 78% (R² ajusté) du prix des appartements. Il est en des même pour les maisons, bien que sa force explicative soit légèrement inférieure (68%).

Le diagnostic des statistiques VIF montre également que les valeurs sont toutes proches de 1. Ainsi, aucun problème de multicolinéarité constaté ne vient perturber les résultats de nos analyses (tableaux 19 et 21).

Les résultats du test de Moran sur les résidus de la MCO (méthode de définition du voisinage basée sur la matrice de distance) montrent que les statistiques I de Moran ne sont pas non plus

66

significatives au seuil de 5%, et ce pour les deux types de biens (par exemple, avec le modèle 1, pour la matrice de distance d=50m, I=0,0309 (P value=0,0940) pour les maisons et I=0,0925 (P value = 0,0980) pour les appartements)²⁴, ce qui suggère qu'il n'y a pas de problème d'autocorrélation spatiale.

De même, les effets des caractéristiques sont ceux attendus pour les deux modèles.

Résultats des régressions : Maisons – Chelles et Vaires-sur-Marne								
	Modèle 1				Modèle 2			
	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %
(Constante)	9,40931	****	-0,28246		9,41341	****	(0,28189)	
ANNEE_2005	0,13776	****	-0,0131	14,8%	0,13796	****	(0,01309)	14,8%
ANNEE_2006	0,27983	****	-0,01356	32,3%	0,27982	****	(0,01355)	32,3%
ANNEE_2007	0,34213	****	-0,0139	40,8%	0,34280	****	(0,01389)	40,9%
ANNEE_2008	0,35317	****	-0,0134	42,4%	0,35341	****	(0,01339)	42,4%
ANNEE_2009	0,23747	****	-0,01453	26,8%	0,23765	****	(0,01451)	26,8%
ANNEE_2010	0,30163	****	-0,0134	35,2%	0,30132	****	(0,01338)	35,2%
ANNEE_2011	0,35691	****	-0,01423	42,9%	0,35609	****	(0,01422)	42,8%
ANNEE_2012	0,34304	****	-0,01431	40,9%	0,34190	****	(0,01430)	40,8%
ANNEE_2013	0,33261	****	-0,01421	39,5%	0,33252	****	(0,01419)	39,4%
ANNEE_2014	0,28058	****	-0,02805	32,4%	0,28081	****	(0,02803)	32,4%
ANNEE_2015	0,29593	****	-0,0261	34,4%	0,29654	****	(0,02607)	34,5%
ANNEE_2016	0,27065	****	-0,02613	31,1%	0,26955	****	(0,02605)	30,9%
LN_SURFACE	0,31095	****	-0,01573	0,3%	0,31051	****	(0,01571)	0,3%
LN_TERRAIN	0,16164	****	-0,0069	0,2%	0,16197	****	(0,00689)	0,2%
PICE_3M	-0,11036	****	-0,01251	-10,4%	-0,11120	****	(0,01249)	-10,5%
PIECE_4	-0,03178	****	-0,00851	-3,1%	-0,03200	****	(0,00850)	-3,1%
GARAGE_0	-0,04741	****	-0,00801	-4,6%	-0,04680	****	(0,00800)	-4,6%
GARAGE_2P	0,02129	*	-0,01151	2,2%	0,02172	*	(0,01149)	2,2%
SLDB_0	-0,20204	****	-0,03832	-18,3%	-0,20185	****	(0,03828)	-18,3%
SLDB_2P	0,05646	****	-0,00752	5,8%	0,05666	****	(0,00751)	5,8%
NIVEAU_1	-0,02758	***	-0,00843	-2,7%	-0,02767	****	(0,00843)	-2,7%
EPOQUE_NR	0,02002	****	-0,00773	2,0%	0,02021	***	(0,00772)	2,0%
EPOQUE_E	0,03228	****	-0,0094	3,3%	0,03262	***	(0,00939)	3,3%
EPOQUE_F	0,05308	****	-0,01248	5,5%	0,05244	****	(0,01246)	5,4%
EPOQUE_G	0,06983	****	-0,01714	7,2%	0,07028	****	(0,01712)	7,3%
EPOQUE_H	0,08762	****	-0,02966	9,2%	0,08859	***	(0,02964)	9,3%
TYPE_NR	-0,02439	**	-0,01043	-2,4%	-0,02444	**	(0,01042)	-2,4%
LN_REVENU	0,10172	****	-0,02515	0,1%	0,10061	****	(0,02511)	0,1%
LN_DIST_GARE_TRAIN	-0,08263	****	-0,00563	-0,1%	-0,08177	****	(0,00562)	-0,1%
LN_DIST_BOIS	0,0329	*	-0,01703	0,0%	0,03391	**	(0,01702)	0,0%
DIST_ROUTE_50m	-0,12278	****	-0,0279	-11,6%	-0,12174	****	(0,02788)	-11,5%
DIST_ROUTE_100m	-0,04556	*	-0,02394	-4,5%	-0,04493	*	(0,02391)	-4,4%
DIST_ROUTE_150m	-0,03463	**	-0,01664	-3,4%	-0,03362	**	(0,01663)	-3,3%
DIST_STATION_BUS_50m	0,24734	**	-0,11745	28,1%	0,24743	**	(0,11734)	28,1%
FER_LDEN_65	-0,02667	***	-2,0658	-2,6%		NS		
FER_LDEN_70	-0,02667	***	-2,0658	-2,6%	-0,18244	****	(0,05581)	-16,7%
FER_LDEN_75	-0,13647	***	-2,1623	-12,8%				
DIST_MUR_0_200_V1 ^c	0,05307	*	-0,0324	5,5%		-		
DIST_MUR_200_300_V1	NS							
DIST_MUR_0_100_V0 ^c	-0,11151	*	-0,06208	-10,6%		-		
DIST_MUR_100_200_V0	NS							
DIST_MUR_200_300_V0	NS							
DIST_MUR_V1		-			0,00163	***	(0,00057)	0,2%

²⁴ Notons que plusieurs matrices de distances ont été testées (d=50, 100, 150, 200 m), comme il est fréquent dans les études de prix hédoniques.

DIST_MUR_VO	-	-0,00171	**	(0,00070)	-0,2%
DIST_MUR_V1*DIST_MUR_V1	-	0,00000	****	(0,00000)	0,0%
DIST_MUR_VO*DIST_MUR_VO	-	0,00001	*	(0,00000)	0,0%
Number of obs	2931				2931
F	124.64				128.90
Prob > F	0,0000				0,0000
R-squared	0,6799				0,6808
Root MSE	0,16723				0,16697
AIC	-2126,991				-2137,191
BIC	-1893,65				-1909,833

Tableau 18 : Résultats des régressions : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne.

Note :

Modèle 1 : La variable distance par rapport au mur antibruit est spécifiée sous forme de variable binaire.

Modèle 2 : La variable distance par rapport au mur est spécifiée sous forme de variable continue.

^a: Les signes indiquent le degré de significativité des coefficients. **** : significatif à 0,1% ; *** : significatif à 1% ; ** : significatif à 5% et * : significatif à 10%.

^b: Effet observé sur le prix (en %), calculé à partir des coefficients de régressions.

^c: VO signifie « mur sans verdure » ; V1 signifie « mur avec verdure »

Source : calculs des auteurs réalisés à partir de la base des données résultant de la fusion de la base BIEN (2011-2016) avec les caractéristiques socioéconomiques des IRIS fournis par l'INSEE, les caractéristiques d'accessibilité et d'environnement physique calculés à l'aide du SIG MAPINFO en utilisant les données de l'IAU-Idf, les niveaux de bruit ferroviaire issus de la cartographie fournie par le CEREMA ainsi que les niveaux de bruit routier issus de la cartographie Stratégique du bruit routier. Dans le tableau 18, les variables Distance au mur (avec ou sans verdure) s'entendent comme suit :

- La catégorie de référence inclut les maisons au-delà de 300m du mur que celui-ci soit avec ou sans verdure ;
- Les maisons situées entre 0 et 200 mètres d'un mur avec verdure (variable DIST_MUR_0_200_V1) ont un prix significativement supérieur à la catégorie de référence (à 10%) ;
- Les maisons situées entre 0 et 100 mètres d'un mur sans verdure (variable DIST_MUR_0_100_VO) ont un prix significativement plus faible que la catégorie de référence (à 10%) ;
- Toutes les autres maisons ont un prix qui n'est pas significativement différent de la catégorie de référence.

Statistique de Colinéarité : Maisons, Chelles/Vaires-sur-Marne				
Variable	Modèle 1		Modèle 2	
	VIF	1/VIF	VIF	1/VIF
ANNEE_2005	1,8085	0,5529	1,8086	0,5529
ANNEE_2006	1,7145	0,5833	1,7145	0,5833
ANNEE_2007	1,6779	0,5960	1,6783	0,5958
ANNEE_2008	1,8081	0,5531	1,8082	0,5530
ANNEE_2009	1,6410	0,6094	1,6408	0,6094
ANNEE_2010	1,8864	0,5301	1,8856	0,5303
ANNEE_2011	1,7815	0,5613	1,7819	0,5612
ANNEE_2012	1,7267	0,5791	1,7264	0,5793
ANNEE_2013	1,7332	0,5770	1,7325	0,5772
ANNEE_2014	1,3566	0,7371	1,3567	0,7371
ANNEE_2015	1,4442	0,6924	1,4434	0,6928
ANNEE_2016	1,5931	0,6277	1,5869	0,6302
LN_SURFACE	2,4362	0,4105	2,4337	0,4109
LN_TERRAIN	1,2322	0,8115	1,2313	0,8121
PICE_3M	2,2897	0,4367	2,2883	0,4370
PIECE_4	1,4653	0,6825	1,4633	0,6834
GARAGE_0	1,1306	0,8845	1,1305	0,8845
GARAGE_2P	1,0875	0,9196	1,0865	0,9203
SLDB_0	1,0333	0,9678	1,0333	0,9678

Statistique de Colinéarité : Maisons, Chelles/Vaires-sur-Marne				
SLDB_2P	1,3627	0,7338	1,3611	0,7347
NIVEAU_1	1,4364	0,6962	1,4363	0,6962
EPOQUE_NR	1,5038	0,6650	1,5034	0,6652
EPOQUE_E	1,4561	0,6867	1,4556	0,6870
EPOQUE_F	1,3042	0,7668	1,3021	0,7680
EPOQUE_G	1,1799	0,8475	1,1797	0,8477
EPOQUE_H	1,0705	0,9342	1,0704	0,9343
TYPE_NR	1,0531	0,9495	1,0530	0,9497
LN_REVENU	1,3245	0,7550	1,3229	0,7559
LN_DIST_GARE_TRAIN	1,8448	0,5420	1,8420	0,5429
LN_DIST_BOIS	1,1152	0,8967	1,1150	0,8968
DIST_ROUTE_50m	1,0606	0,9428	1,0606	0,9429
DIST_ROUTE_100m	1,0707	0,9340	1,0704	0,9342
DIST_ROUTE_150m	1,1124	0,8990	1,1121	0,8992
DIST_STATION_BUS_50m	1,0278	0,9729	1,0278	0,9729
FER_LDEN_65	1,1905	0,8400	1,1312	0,8840
FER_LDEN_70	1,0437	0,9581	1,0438	0,9580
DIST_MUR_0_200_V1	1,1236	0,8900		
DIST_MUR_0_100_V0	1,1464	0,8723		
DIST_MUR_V1			15,0051	0,0666
DIST_MUR_VO			12,9999	0,0769
DIST_MUR_V1*DIST_MUR_V1			14,9738	0,0668
DIST_MUR_VO*DIST_MUR_VO			12,8992	0,0775

Tableau 19 : Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne

Résultats des régressions : Appartements, Chelles/Vaires-sur-Marne								
	Modèle 1				Modèle 2			
	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %	Coef.	P>t	Std. Err.	Effet en %
(Constante)	5,3339	****	0,2989		5,3934	****	0,2975	
ANNEE_2004	-0,4251	****	0,0096	-34,6%	-0,3902	****	0,01	-32,3%
ANNEE_2005	-0,2434	****	0,0094	-21,6%	-0,2073	****	0,0097	-18,7%
ANNEE_2006	-0,0854	****	0,0091	-8,2%	-0,0493	****	0,0095	-4,8%
ANNEE_2009	-0,07	****	0,0097	-6,8%	-0,0349	****	0,0101	-3,4%
ANNEE_2010	-0,0414	****	0,0085	-4,1%	0,0418	****	0,0093	4,3%
ANNEE_2016	-0,1085	****	0,0226	-10,3%	-0,0802	****	0,0224	-7,7%
Ln_SURFACE	0,6194	****	0,0113	0,6%	0,603	****	0,0091	0,6%
Ln_SURFACE/PIECE	-0,0709	****	0,0165	-0,1%	-0,0788	****	0,0145	-0,1%
GARAGE_2P	0,0305	****	0,0098	3,1%	0,067	****	0,011	6,9%
SLDB_0	0,0833	**	0,0421	8,7%	0,0765	*	0,0418	8,0%
SLDB_2P	0,0775	****	0,0154	8,1%	0,0792	****	0,0152	8,2%
ASCENS_N	-0,0211	***	0,0077	-2,1%	-0,0218	***	0,0076	-2,2%
EPOQUE_NR	0,0253	***	0,0091	2,6%	0,0227	**	0,009	2,3%
EPOQUE_A	0,2887	***	0,1021	33,5%	0,2871	***	0,1014	33,2%
EPOQUE_D	-0,0151	**	0,0069	-1,5%	-0,0178	**	0,0069	-1,8%
EPOQUE_F	0,1142	****	0,0124	12,1%	0,1107	****	0,0123	11,7%
EPOQUE_G	0,0909	****	0,0159	9,5%	0,0909	****	0,0157	9,5%
EPOQUE_H	0,1673	****	0,0117	18,2%	0,1674	****	0,0115	18,2%
JARDIN_N	-0,0256	**	0,0103	-2,5%	-0,0242	**	0,0102	-2,4%
JARDIN_O	0,0972	****	0,0147	10,2%	0,0965	****	0,0147	10,1%
TERRASSE_O	0,0619	****	0,0127	6,4%	0,0602	****	0,0126	6,2%
TYPE_TR	-0,1251	***	0,0494	-11,8%	-0,115	**	0,049	-10,9%
CHELLES	-0,0207	**	0,0103	-2,0%	-0,0215	**	0,0098	-2,1%
LN_REVDISP	0,4388	****	0,0271	0,4%	0,4348	****	0,027	0,4%
FER_LDEN_65	-0,0344	***	0,0104	-3,4%	-0,027	**	0,0101	-2,7%
FER_LDEN_70	-0,1040	***	0,0416	-9,9%	-0,1155	****	0,0269	-10,9%
FER_LDEN_75	-0,1351	****	0,0257	-12,6%	NS			
DIST_M_100_VO	-0,0956	****	0,0243	-9,1%				
DIST_M_200_VO	-0,0608	*	0,0373	-5,9%				
DIST_M_300_VO	NS				NS			
DIST_MUR_VO*DIST_Mur_VO					-0,0000014	****	0	0,0%
Number of obs				3337				3337
Prob > F				0				0

R-squared	0,7775	0,7775
Root MSE	0,1434	0,14342
AIC	-3445.807	-3452.892
BIC	-3182.955	-3208.379

Tableau 20: Résultats des régressions : cas des Appartements à Chelles et Vaires-sur-Marne

Note :

Modèle 1 : La variable distance par rapport au mur antibruit est spécifiée sous forme de variable binaire.

Modèle 2 : La variable distance par rapport au mur est spécifiée sous forme de variable continue.

^a: Les signes indiquent le degré de significativité des coefficients. **** : significatif à 0,1% ; *** : significatif à 1% ; ** : significatif à 5% et * : significatif à 10%.

^b: Effet observé sur le prix (en %), calculé à partir des coefficients de régressions.

Source : calculs des auteurs réalisés à partir de la base des données résultant de la fusion de la base BIEN (2011-2016) avec les caractéristiques socioéconomiques des IRIS fournis par l'INSEE, les caractéristiques d'accessibilité et d'environnement physique calculés à l'aide du SIG MAPINFO en utilisant les données de l'IAU-Idf, les niveaux de bruit ferroviaire issus de la cartographie fournie par le CEREMA ainsi que les niveaux de bruit routier issus de la cartographie Stratégique du bruit routier.

Statistique de colinéarité : Appartement Chelles/Vaires-sur-Marne

	Modèle 1		Modèle 2	
	VIF	1/VIF	VIF	1/VIF
ANNEE_2004	1,1856	0,8434	1,3005	0,7690
ANNEE_2005	1,1977	0,8350	1,3160	0,7599
ANNEE_2006	1,2215	0,8187	1,3442	0,7439
ANNEE_2009	1,1258	0,8882	1,2414	0,8055
ANNEE_2010	1,1534	0,8670	1,3103	0,7632
ANNEE_2016	1,2494	0,8004	1,2348	0,8099
Ln_SURFACE	2,3028	0,4342	1,5079	0,6632
Ln_SURFACE/PIECE	1,5952	0,6269	1,2466	0,8022
GARAGE__2P	1,1548	0,8660	1,4590	0,6854
SLDB_0	1,0269	0,9738	1,0272	0,9735
SLDB_2P	1,1493	0,8701	1,1348	0,8812
ASCENS__N	1,1266	0,8876	1,1277	0,8868
EPOQUE__NR	1,1827	0,8455	1,1711	0,8539
EPOQUE__A	1,0105	0,9896	1,0111	0,9890
EPOQUE__D	1,4264	0,7011	1,4204	0,7040
EPOQUE__F	1,1401	0,8771	1,1442	0,8740
EPOQUE__G	1,1073	0,9031	1,1005	0,9086
EPOQUE__H	1,4277	0,7004	1,4126	0,7079
JARDIN__N	1,0333	0,9677	1,0307	0,9702
JARDIN__O	1,2107	0,8260	1,2120	0,8251
TERRASSE__O	1,2885	0,7761	1,2829	0,7795
TYPE__TR	1,0630	0,9408	1,0611	0,9424
CHELLES	2,0841	0,4798	1,8849	0,5305
LN_REVDISP	1,8482	0,5411	1,8491	0,5408
DIST_ROUTE_050	1,2575	0,7952	1,2455	0,8029
DIST_ROUTE_100150	1,1989	0,8341	1,1785	0,8485
FER_LDEN_65	1,2467	0,8021	1,2029	0,8313
FER_LDEN_70	1,5173	0,6591	1,6792	0,5955
DIST_M_100_VO	1,6021	0,6242		
DIST_M_200_VO	1,0756	0,9297		
DIST_MUR_V1*DIST_MUR_V1			21,0538	0,0475
DIST_MUR_VO*DIST_MUR_VO			21,7736	0,0459

Tableau 21: Statistique de colinéarité entre les variables du modèle : cas des Maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne

6.2.3. Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats des régressions pour Chelles et Vaires-sur-Marne fournit des résultats identiques à ceux décrits ci-dessus.

Cas des maisons

Pour les maisons, 38 variables de contrôle ont été finalement retenues. Comme dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy, les résultats montrent une relation significative entre prix des maisons et niveau de bruit et distance par rapport au mur antibruit.

Concernant le niveau de bruit, les coefficients affectés aux variables zones de bruit sont négatifs et significatifs à partir de LDEN 65 dB(A), ce qui signifie que l'exposition au bruit tend à diminuer le prix des maisons. Ainsi :

- le fait d'être situé dans les zones entre LDEN 65 et 70 et LDEN 70 et 75 dB(A) se traduit par une baisse de 2,6% du prix des maisons toutes choses égales par ailleurs par rapport au prix moyen des maisons exposées à un bruit inférieur à 65 dB(A);
- et le fait d'être situé dans la zone exposée à plus de LDEN 75 dB(A) de traduit, toutes choses égales par ailleurs, par une dépréciation de 12,8% du prix.

Les valeurs estimées des coefficients nous montrent par ailleurs que les maisons situées à moins de 100 m des murs antibruit ont un prix de vente inférieure de 10,6% à celles situées loin des murs (situées à plus de 300m de ceux-ci), toutes choses égales par ailleurs. Ce résultat concerne seulement le cas où le mur n'est pas entouré de verdure. Dans le cas contraire, autrement dit, lorsque le mur est bordé de verdure, la variable présente un signe positif : le fait d'être situé à moins de 100 m de celui-ci se traduit par une appréciation de 5,5% du prix des maisons, toutes choses égales par ailleurs.

En revanche, on constate également le fait qu'être localisé dans les bandes de distances entre 100 et 200 et entre 200 et 300m du mur n'a pas d'impact significatif sur les prix des maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne.

Cas des appartements

Enfin, concernant les appartements à Chelles et Vaires-sur-Marne, 33 variables de contrôles ont été retenues. Les résultats suggèrent également l'existence d'une relation entre prix des maisons et niveau de bruit et distance par rapport au mur antibruit.

Concernant le niveau de bruit, les coefficients affectés aux variables zones de bruit sont négatifs et significatifs à partir de 65 dB(A), ce qui signifie que l'exposition au bruit tend à diminuer le prix des appartements, toutes choses égales par ailleurs. Ainsi, par rapport à un appartement exposé à un niveau de bruit inférieur à LDEN 65 dB (A) :

- le fait d'être situé dans la zone entre LDEN 65 et 70 dB(A) se traduit par une baisse de 3,4% du prix ;
- le fait d'être situé dans la zone exposée entre LDEN 70 et 75 engendre une baisse de 9,9 % du prix ;
- le fait d'être situé dans la zone exposée à plus de LDEN 75 engendre une baisse de 12,6% du prix
- cependant, on n'observe pas de relation significative entre le prix et la variable croisée entre niveau de bruit et étage.

La variable distance par rapport au mur est significative et dotée d'un coefficient négatif. Notons qu'il s'agit ici seulement du cas où le mur n'est pas entouré de verdure.

- le fait d'être situé dans la bande de distance entre 0 et 100 m d'un mur sans verdure a un impact négatif de l'ordre de 9,1% sur le prix des appartements ;
- et le fait d'être situé entre 100 et 200m d'un mur sans verdure engendre, toutes choses égales par ailleurs, une baisse de 5,9% du prix de celui-ci.

De même, la variable croisée entre distance par rapport au mur et étage n'a pas d'effet significatif. Dans le cas où le mur est entouré de verdure, les coefficients ne sont pas significatifs.

6.3.Synthèse

Jusqu'ici, nous avons traité séparément les résultats de l'analyse économétrique, selon le type de bien et le terrain étudié. Il s'agit maintenant de comparer les résultats obtenus de manière simultanée. Pour ce faire, nous proposons de comparer la valeur des coefficients des variables qui nous intéressent (niveau de bruit et distance par rapport au mur), en comparant l'intervalle de confiance (IC) dans lequel se situent les coefficients. Ces variables décrivent deux catégories d'effet sur le prix :

- 1) L'effet de la réduction du niveau de bruit, noté B
- 2) L'effet esthétique (effets visuels et paysagers) noté P

En effet, toute estimation statistique du paramètre B étant nécessairement entachée d'incertitude, on ne peut pas, à partir d'un échantillon, déterminer avec exactitude, la valeur de B. Il est cependant possible de construire un intervalle de confiance pour B. Rappelons que l'IC à 90% est l'intervalle de valeur qui a 90% de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé. Avec moins de rigueur, il est possible de dire que l'IC représente la fourchette de valeur à l'intérieure de laquelle nous sommes certains à 90% de trouver la vraie valeur du paramètre B. L'IC est donc l'ensemble des valeurs raisonnablement compatibles avec les résultats observés.

Les valeurs des coefficients B ainsi que leurs IC à 90% sont reportées et présentées dans les paragraphes ci-dessous, pour chacune de nos variables d'intérêts.

6.3.1. Effet du bruit

Les valeurs des coefficients B ainsi que leurs IC à 90% sont reportées dans le tableau 22 et dans le graphique 14 ci-dessous.

	Type de bien	Terrain (Effectif)	IC 90% Borne inf.	IC 90% borne sup.	B
LDEN_65	Maison	NB (N=169)	-8,6%	-2,1%	-5,5%
		CV (N=302)	-4,7%	-0,5%	-2,6%
	Appartement	NB (N=121)		NS	
		CV (N=362)	-5,0%	-1,7%	-3,4%
LDEN_70	Maison	NB (N=85)	-12,4%	-3,6%	-8,1%
		CV (N=34)	-4,7%	-0,5%	-2,6%
	Appartement	NB (N=144)	-8,5%	-2,8%	-5,7%
		CV (N=125)	-16,1%	-3,2%	-9,9%
LDEN_75	Maison	NB (N=30)	-15,4%	-4,1%	-9,9%
		CV (N=9)	-21,4%	-3,2%	-12,8%
	Appartement	NB (N=22)	-12,5%	-1,8%	-7,3%
		NB LDEN_75_ET3 (N=20)	-21,1%	-2,1%	-12,1%
		CV (N12)	-16,2%	-8,9%	-12,6%

Tableau 22: Comparaison des pourcentages de dépréciation du prix des logements due au bruit ferroviaire.

Note : CV= Chelles et Vaires-sur-Marne, NB = Noisy-le-Sec et Bondy, NS = non significatif

Dépréciation du prix des logements due au bruit ferroviaire à Noisy-le-Sec/Bondy et Chelles/Vaires-sur-Marne

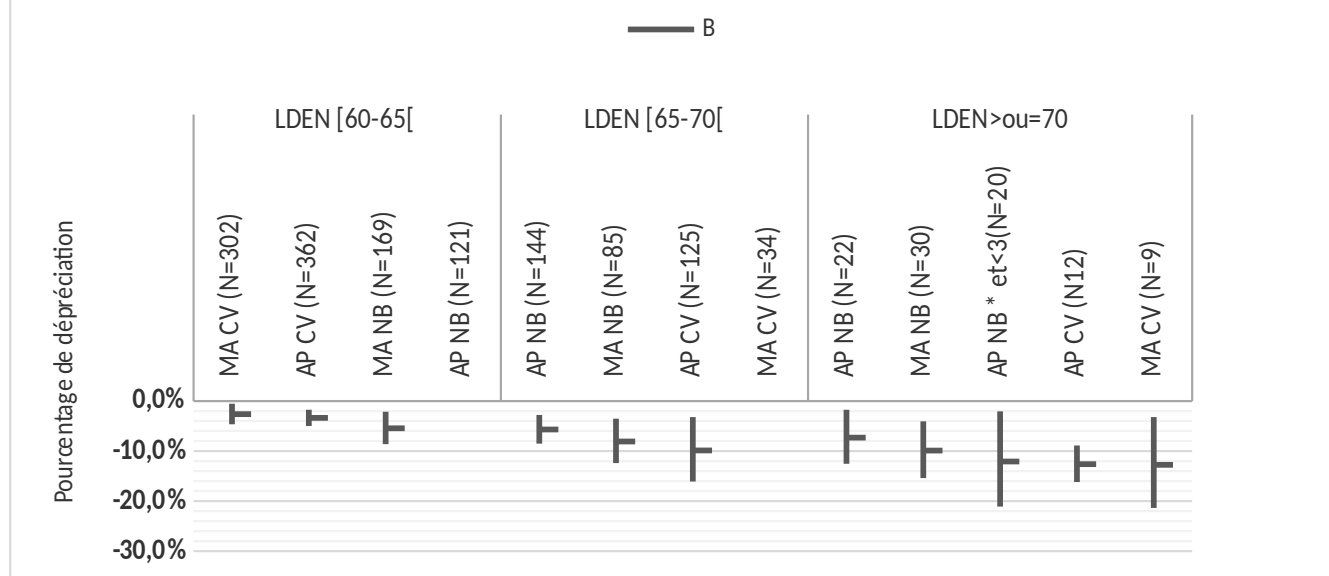


Figure 14: Comparaison des pourcentages de dépréciations observés dues au bruit et leurs intervalles de confiance à 90%.

Si on se concentre sur chacune des trois zones de bruit, on observe à travers le graphique ci-dessus que, tous les intervalles de confiance se chevauchent, signifiant concrètement que tous les groupes possèdent des résultats compatibles.

Les intervalles de confiance permettent aussi de visualiser le plus petit effet du bruit que l'on ne peut pas raisonnablement exclure. Ainsi, en comparant les différentes zones de bruit, on observe que dans la majorité des cas, ce plus petit effet augmente en fonction du niveau de bruit. En pratique, quel que soit la valeur réelle de l'effet, la dépréciation du prix est plus importante dans la zone fortement exposée au bruit.

Regardons maintenant les NDSI. Leurs valeurs sont présentées dans le tableau suivant (tableau 23) :

	Type de bien	Terrain (Effectif)	NDSI (IC 90% Borne inf.)	NDSI (IC 90% borne sup.)	NDSI (B)
LDEN_65	Maison	NB	0,9%	0,2%	0,6%
		CV	0,5%	0,1%	0,3%

	Appartement	NB		NS		
			CV		0,5%	0,2%
LDEN_70	Maison	NB		0,8%	0,2%	0,5%
		CV		0,5%	0,1%	0,3%
	Appartement	NB		0,6%	0,2%	0,4%
		CV		1,1%	0,2%	0,7%
LDEN_75	Maison	NB		0,8%	0,2%	0,5%
		CV		1,1%	0,2%	0,6%
	Appartement	NB		0,6%	0,1%	0,4%
		NB LDEN_75_ET3 (N=20)		1,1%	0,1%	0,6%
		CV		0,8%	0,5%	0,6%
		CV		0,8%	0,5%	0,6%

Tableau 23 : Comparaison des NDSI

Note: CV= Chelles et Vaires-sur-Marne, NB = Noisy-le-Sec et Bondy, NS = non significatif

Pour les calculs des NDSI, nous avons appliqué la formule présentée à dans la section 3.3. Les centres de classes (CI) ont été considérés comme niveau de bruit de la catégorie considérée (CI =67,5 dB(A) pour la catégorie LDEN_65 ; CI=72,5 dB(A) pour la catégorie LDEN_70 et CI =77,5 dB(A) pour la catégorie LDEN_75). La catégorie de référence est la zone située entre 50 et 65 dB(A) (CI = 57,5 dB(A)).

Il ressort du tableau que les NDSI sont aussi tout à fait convergents et ils sont conformes à ceux trouvés par les études étrangères. En effet, les NDSI observés sont de :

- 0,5 – 0,6% par décibel dans le cas des maisons à Noisy-Bondy ;
- 0,3 – 0,6% par décibel dans le cas des maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne ;
- 0,4- 0,6% par décibel dans le cas des appartements à Noisy-Bondy ;
- et 0,3 – 0,7% par décibel dans le cas des appartements à Chelles et Vaires-sur-Marne.

Ainsi, il ressort donc que les nuisances sonores sont perçues de façon relativement identique par les acquéreurs de maisons et d'appartements à Noisy-le-Sec/Bondy et à Chelles/Vaires-sur-Marne.

6.3.2. Effets des distances par rapport au mur

Le tableau et graphique suivants récapitulent les effets des murs antibruit.

		Type de logement	Terrain étudié	IC 90% Borne sup.	IC 90% Borne inf.	Effet observé
0-100m	Sans verdure	Maison	NB (N=7)	-22,6%	-0,1%	-12,1%
			CV (N=8)	-19,3%	-1,0%	-10,6%
		Appartement	NB (N=7)	-8,8%	-0,3%	-4,7%
			CV (N=17)	-12,6%	-5,5%	-9,1%
	Avec verdure	Maison	NB		NS	
			CV (N=19)	11,3%	0,0%	5,5%
		Appartement	NB		NS	
			CV		NS	
100-200m	Sans verdure	Maison	NB (N=33)		NS	
			CV (N=10)		NS	

	Appartement	NB (N=41)	-8,8%	-0,3%	-4,7%	
		CV (N=57)	-11,4%	-0,1%	-5,9%	
	Avec verdure	Maison	NB	NS		
			CV (N=45)	11,0%	0%	5,5%
	Appartement	NB	NS			
		CV	NS			

Tableau 24: Comparaison de l'effet de l'esthétique des murs antibruit sur le prix des logements.

Note : Une valeur négative indique une dépréciation du prix des logements. A l'opposé, une valeur positive témoigne d'une augmentation. NS = Non significatif. MA = Maison, AP = Appartement, CV= Chelles et Vaires-sur-Marne, NB = Noisy-le-Sec et Bondy

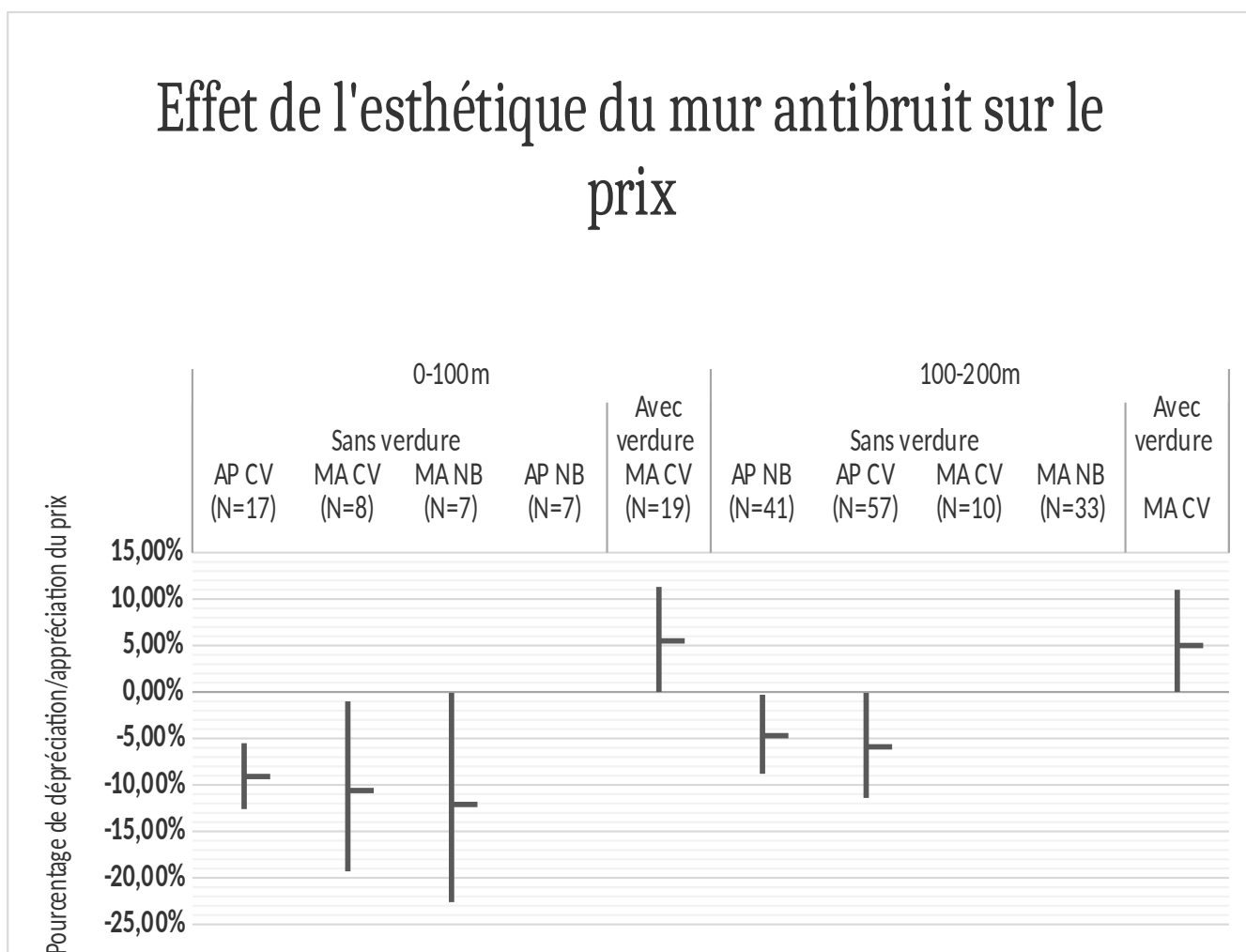


Figure 15: Comparaison des pourcentages de dépréciations / appréciations observés dues à l'effet esthétique des murs antibruit et leurs intervalles de confiance à 90%.

Cas des murs sans verdure : distance = 0-100m

Les intervalles de confiance se chevauchent également, ce qui nous renseigne sur la convergence des effets de la distance par rapport au mur sur le prix.

Concernant les maisons, la pose de murs antibruit entraîne une dépréciation du prix des maisons de -12,1% (IC 90% [-22,6% ; -0,1%]) dans le cas de Noisy-le-Sec/Bondy et -10,6% (IC 90% [-19,3% ; -

1,0%]) dans le cas de Chelles/Vaires-sur-Marne lorsque la maison est située à moins de 100m de celui-ci. Ces résultats signifient qu'il existe un effet négatif et statistiquement significatif de la distance par rapport au mur sur le prix des maisons, la taille de l'effet n'est pas connue avec précision mais il se pourrait que cet effet soit de taille importante. En effet, les résultats des estimations (-12,1% et -10,6%) témoignent d'un effet substantiel de même que la borne inférieure des intervalles (-22,6%) et (-19,3%), respectivement, dans le cas de Noisy-le-Sec/Bondy et Chelles/Vaires-sur-Marne. Cependant, l'incertitude sur ces effets est grande et il est aussi possible que l'effet soit quasiment nul (proche de la borne supérieure ; -0,1% et -1%, respectivement dans le cas de Noisy-le-Sec/Bondy et Chelles/Vaires-sur-Marne).

Dans le cas des appartements, l'existence des murs antibruit entraîne une dépréciation du prix des appartements à Chelles/Vaires-sur-Marne de -9,1% (IC 90% [-12,6% ; -5,5%]) ; et de -4,7% (IC 90% [-8,8% ; -0,3%]) dans le cas de Noisy-le-Sec et Bondy lorsque celui-ci est situé à moins de 100m du mur. Mais le résultat montre que dans le cas de Chelles et Vaires-sur-Marne, l'effet est significatif de taille importante et connu avec plus de précision. En effet, quel que soit la valeur réelle de l'effet, celle-ci reste importante. Dans le meilleur des cas, la dépréciation engendrée par l'existence de mur antibruit est encore de -5,5%.

Cas des murs sans verdure : distance = 100-200m

Contrairement aux cas des maisons, on observe également que l'existence de murs antibruit entraîne une dépréciation du prix des appartements de -4,7% (IC 90% [-8,8% ; -0,3%]) à Noisy-le-Sec/Bondy et -5,9% (IC 90% [-11,4% ; -0,1%]) à Chelles/Vaires-sur-Marne lorsque l'appartement est situé dans la bande de distance entre 100 et 200m du mur. De ce fait, il existe un effet statistiquement significatif connu avec précision mais il est aussi possible que l'effet réel soit quasiment nul.

En pratique, dans le cas des murs sans verdure, il est difficile de recommander l'utilisation de ce traitement car il existe une possibilité qu'il soit peu ou non efficace. Des études supplémentaires qui permettraient d'améliorer la précision de l'estimation de l'effet des murs, pourraient être souhaitables pour valider ce résultat.

Cas des murs avec verdure

Contrairement au cas des murs sans verdure, l'existence de mur entouré de verdure entraîne une augmentation du prix de 5,5% (IC 90% [0,02% ; 11,3%]) ; cas des maisons à Chelles et Vaires-sur-Marne). Ce qui signifie qu'il existe un effet statistiquement significatif, connu avec précision, mais que la taille réelle de l'effet peut aussi être nulle.

Le traitement des murs antibruit par le rajout de verdure peut donc être recommandé en pratique car quel que soit la valeur réelle de l'effet, celui-ci est intéressant. Dans le pire des cas, l'effet est nul, ce qui correspond en l'absence d'effet négatif sur le prix.

7. BÉNÉFICES/COÛT APPORTÉS PAR LES MURS ANTIBRUIT

Nous avons traité jusqu'à présent uniquement les effets du bruit et des murs antibruit sur le bien-être individuel. Cependant, d'autres informations peuvent être portées à la connaissance des décideurs pour pouvoir mieux statuer sur le financement de projets affectant un grand nombre d'habitants. En ce sens, le principe du prix hédonique peut être utilisé pour évaluer les bénéfices, à travers une comparaison des valeurs des logements. La démarche consiste à utiliser les dépréciations dues au bruit pour calculer le consentement à payer (CAP) par ménage pour réduire le niveau de bruit et le CAP total.

Nous avons distingué deux catégories d'effets des murs :

- 1) L'effet en termes de réduction du niveau de bruit, noté B
- 2) L'effet esthétique (effets visuels et paysagers) noté P

Le calcul des bénéfices nets de la pose des murs antibruit hors coûts de construction s'écrit :

$$B + P$$

Avec :

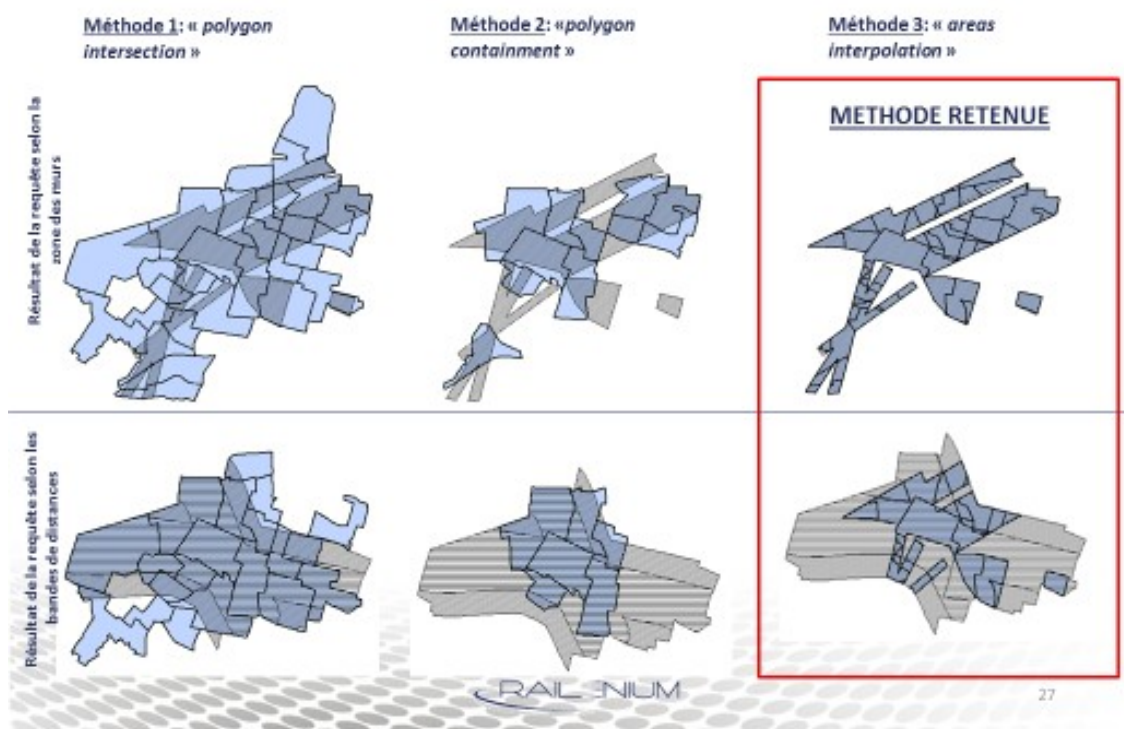
B = (Niveau de bruit après la pose du mur dans la zone d'influence du mur - niveau de bruit avant la pose du mur dans la zone d'influence du mur) x NDSI x Valeur moyenne des logements, avant la pose du mur, dans la zone d'influence du mur x Nombre de logements dans la zone d'influence du mur

P = Pourcentage de dépréciation due à l'effet esthétique du mur x Valeur moyenne des logements avant la pose du mur dans la zone d'influence esthétique du mur x Nombre de logements dans la zone d'influence esthétique du mur

Les données nécessaires sont les suivantes :

- NDSI ou pourcentages de dépréciation du prix par décibel (par intervalle de dB(A)) ;
- Dépréciation/appréciation due à l'effet esthétique ;
- Niveau sonore de la zone avant et après la pose des murs antibruit : le niveau sonore après la pose des murs antibruit est considéré comme étant égal au niveau avant la pose des murs auquel on a soustrait 10 dB(A) ;
- Valeurs moyennes des logements : valeur moyenne avant la pose dans la zone d'influence sonore du mur et valeur moyenne avant la pose du mur dans la zone d'influence esthétique ;
- Nombre de logements (maisons et appartements) dans les différentes zones. Il existe plusieurs méthodes de calcul du nombre de logements à l'aide des données de recensement de l'INSEE fournies à l'échelle de l'IRIS (voir encadré 3 ci-dessous).

Méthode d'estimation du nombre de logements concernés



Méthode 1 : « *polygone intersection* » : cette méthode intersection consiste à estimer le nombre de logement d'une zone en incluant les IRIS dont le centriole est inclus dans la zone d'impact ou dont la frontière présente une intersection avec la zone d'impact. Mais puisqu'une partie de l'IRIS est située en dehors de la zone, le nombre de logement est surestimé.

Méthode 2 : « *polygone containment* » : cette méthode consiste à estimer le nombre de logement d'une zone en n'incluant que les IRIS compris dans la zone. Cette méthode peut cependant sous-estimer la population affectée.

Méthode 3 : « *areas interpolation* » : cette méthode consiste à estimer la population de la zone en rapportant à la proportion de la surface de l'IRIS contenu dans la zone. Par exemple, si 40% de l'IRIS se situe dans la zone d'impact, on suppose que 40% de sa population réside dans la zone. Notons cependant que cette approche suppose que la population soit distribuée de façon homogène dans l'IRIS.

Les tableaux suivants présentent le nombre de logements calculés à l'aide de cette méthode :

- Nombre de logements selon les zones de bruit

	Zone de bruit	Nombre de Maison	Nombre d'Appartement	Total
Noisy/Bondy	LDEN_65	192	462	654
	LDEN_70	170	433	603
	LDEN_75	238	714	952
Chelles/Vaires	LDEN_65	222	242	464
	LDEN_70	130	162	292
	LDEN_75	77	103	180

Source : Calcul à partir des résultats du recensement de la population de l'INSEE (RGP 2013) et des cartographies de bruit (CEREMA)

- Nombre de logements selon les distances par rapport au mur antibruit

	Distance par rapport au mur antibruit	Nombre de Maisons	Nombre d'Appartement	Total
Noisy/Bondy	100 m	614	1470	2084
	200 m	710	1615	2325
	300 m	689	1493	2182
Chelles/ Vaires	100 m	513	729	1242
	200 m	630	934	1564
	300 m	669	986	1655
Source : Calcul à partir des résultats du recensement de la population de l'INSEE (RGP 2013) et des données sur les murs anti-bruit fournies par SNCF Réseau				

Encadré 3 : Méthode de calcul du nombre de logements concernés par les effets des murs antibruit

7.1. Cas de Noisy-le-Sec et Bondy

La carte suivante présente les zones où les logements sont concernés par la réduction du niveau sonore ainsi que par l'effet esthétique des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy (figure 16).

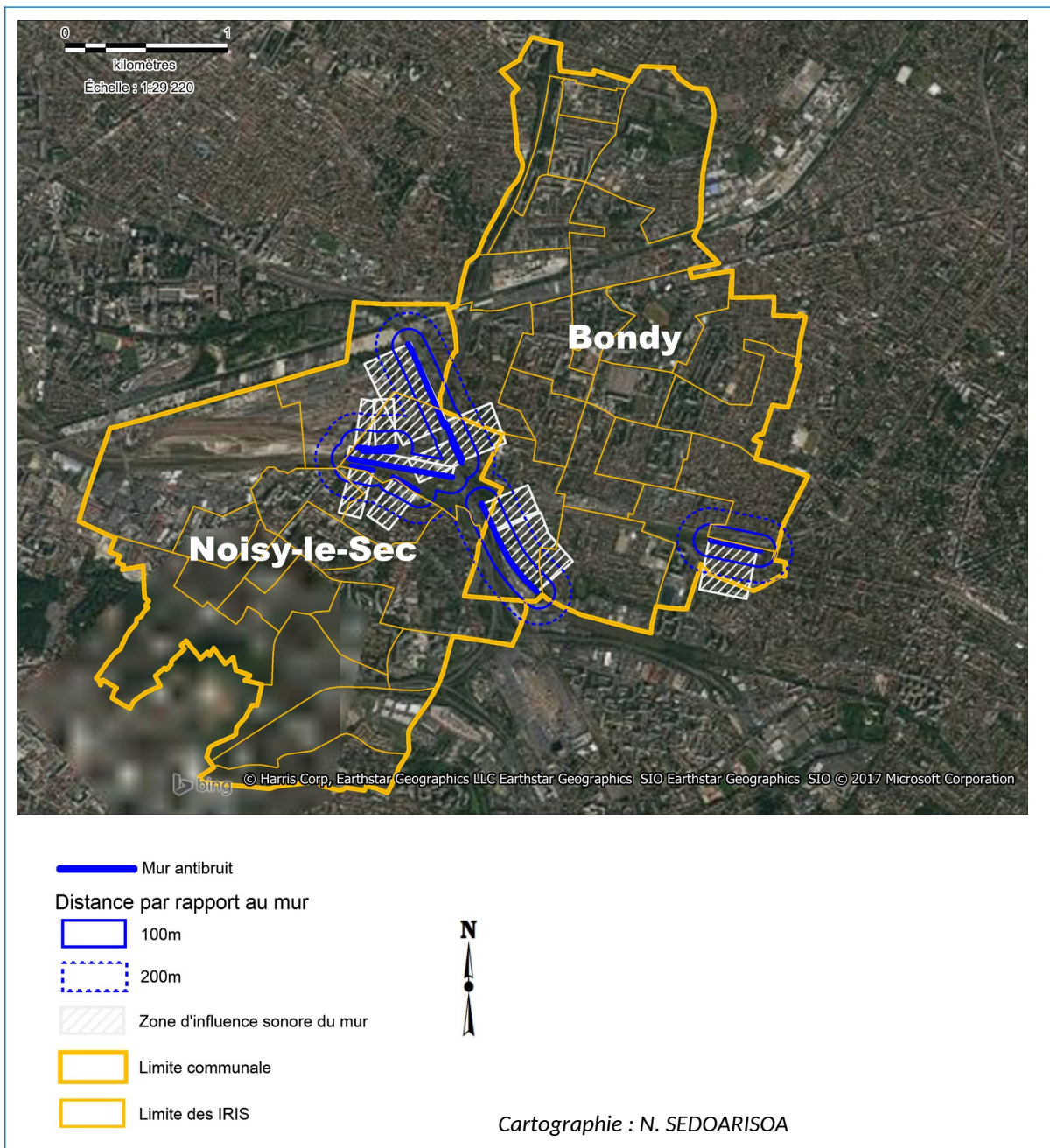


Figure 16 : Identification des zones concernées par les effets du mur antibruit : cas de Noisy le sec et Bondy.

Le tableau suivant (tableau 25) montre les bénéfices/coûts engendrés par la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy, issus de nos calculs (les différentes étapes des calculs sont présentées dans l'annexe 3 A).

Bénéfice/coût des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy : Mur sans verdure							
		B	B en %	P	P en %	B+P	B+P en %
MA	Observé	7 738 725 €	5,3%	-16 674 539 €	-3,5%	-8 935 814 €	-1,9%
	Max	12 092 212 €	8,3%	-137 806 €	0,0%	11 954 406 €	2,5%
	Min	2 902 324 €	2,0%	-31 144 181 €	-6,6%	-28 241 857 €	-6,0%

AP	Observé	6 555 629 €	3,2%	-18 076 761 €	-3,2%	-11 521 132 €	-2,0%
	Max	10 685 864 €	5,2%	-1 153 836 €	-0,2%	9 532 028 €	1,7%
	Min	1 964 391 €	1,0%	-33 845 850 €	-6,0%	-31 881 459 €	-5,6%
MA+AP	Observé	14 294 354 €	4,1%	-34 751 300 €	-3,3%	-20 456 946 €	-2,0%
	Max	22 778 075 €	6,5%	-1 291 642 €	-0,1%	21 486 434 €	2,1%
	Min	4 866 715 €	1,4%	-64 990 031 €	-6,2%	-60 123 316 €	-5,8%

Tableau 25 : Bénéfice / Coût engendré par la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec et Bondy

Les résultats seront interprétés dans la troisième sous-section de ce paragraphe.

7.2. Cas de Chelles et Vaires-sur-Marne

La carte suivante (figure 17) montre les zones concernées par les effets acoustique et esthétique des murs antibruit à Chelles et Vaires-sur-Marne.

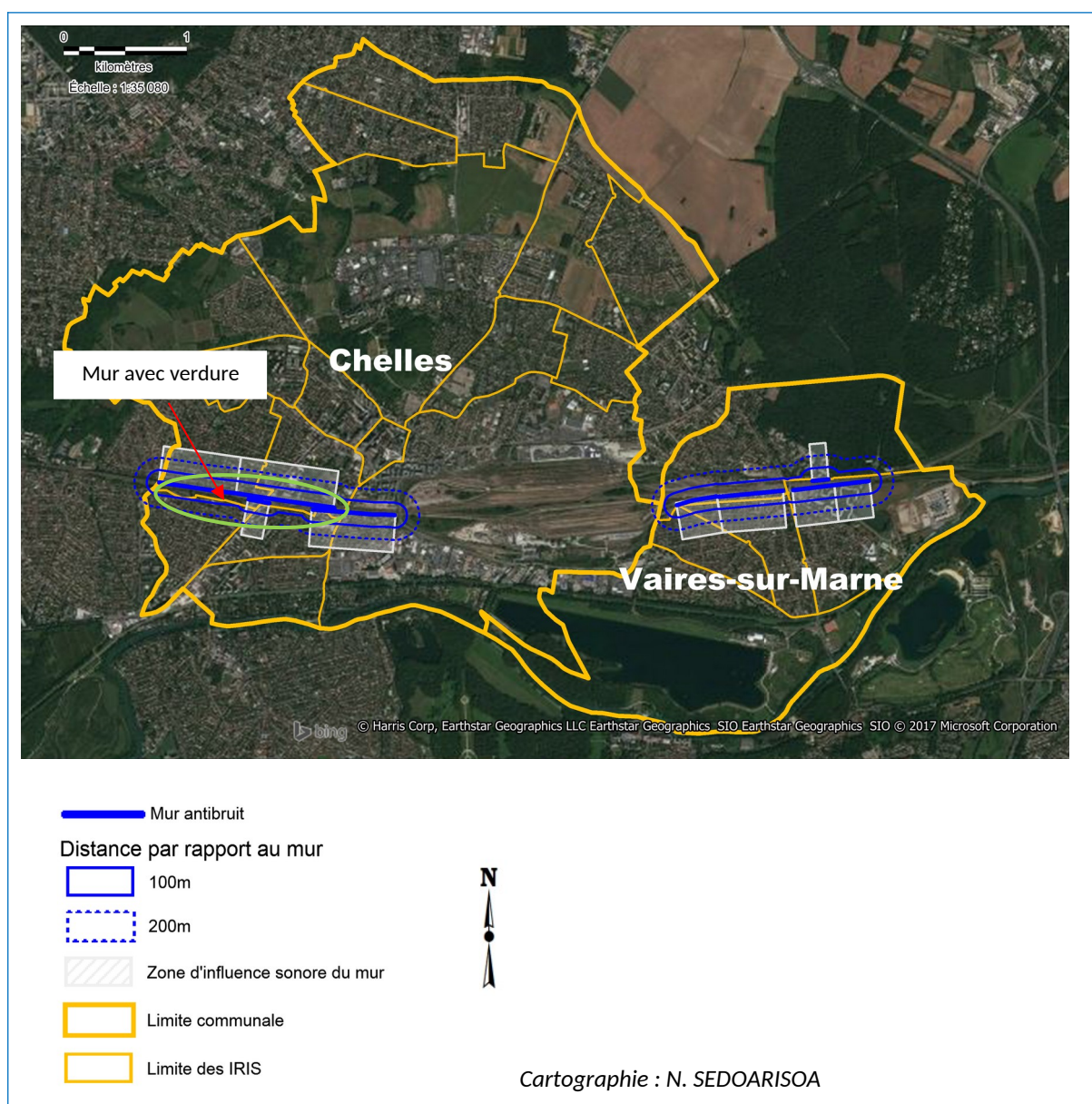


Figure 17: Identification des zones concernées par les effets du mur antibruit (Chelles et Vaires-sur-Marne)

Les tableaux suivants (tableaux 26 et 27) récapitulent les bénéfices/coûts engendrés par la pose des murs anti-bruit à Chelles et Vaires-sur-Marne, issus de nos calculs.

Bénéfice/Coût des murs antibruit à Chelles et Vaires-sur-Marne : appartement + la moitié des maisons = mur sans verdure ; l'autre moitié des maisons = mur avec verdure							
		B	B en %	P	P en %	B+P	B+P en %
MA	Observé	4 235 935 €	3,5%	1 389 265 €	0,2%	5 625 200 €	1,0%
	Max	7 273 157 €	6,1%	22 287 471 €	3,9%	29 560 628 €	5,2%
	Min	1 411 978 €	1,2%	-21 239 570 €	-3,7%	-19 827 592 €	-3,5%
AP	Observé	3 793 433 €	4,7%	-18 761 146 €	-4,4%	-14 967 713 €	-3,5%
	Max	5 842 495 €	7,2%	-5 875 249 €	-1,4%	-32 754 €	0,0%
	Min	2 114 906 €	2,6%	-31 070 149 €	-7,2%	-28 955 243 €	-6,7%
MA+AP	Observé	8 029 367 €	4,0%	-17 371 881 €	-1,7%	-9 342 514 €	-0,9%
	Max	13 115 652 €	6,5%	16 412 222 €	1,6%	29 527 874 €	3,0%
	Min	3 526 884 €	1,8%	-52 309 719 €	-5,2%	-48 782 835 €	-4,9%

Tableau 26 : Bénéfice / coût engendré par la pose des murs antibruit à Chelles/Vaires-sur-Marne

Sous l'hypothèse actuelle : les appartements et la moitié des maisons sont concernés par des murs sans verdure ; environ l'autre moitié des maisons sont concernées par des murs avec verdure

Bénéfice/coût des murs antibruit à Chelles et Vaires-sur-Marne : maisons + appartements= mur sans verdure							
		B	B en %	P	P en %	B+P	B+P en %
MA	Observé	4 235 935 €	3,5%	-17 863 512 €	-3,1%	-13 627 577 €	-2,4%
	Max	7 273 157 €	6,1%	-2 069 589 €	-0,4%	5 203 568 €	0,9%
	Min	1 411 978 €	1,2%	-42 415 739 €	-7,4%	-41 003 761 €	-7,2%
AP	Observé	3 793 433 €	4,7%	-18 761 146 €	-4,4%	-14 967 713 €	-3,5%
	Max	5 842 495 €	7,2%	-5 875 249 €	-1,4%	-32 754 €	0,0%
	Min	2 114 906 €	2,6%	-31 070 149 €	-7,2%	-28 955 243 €	-6,7%
MA+AP	Observé	8 029 367 €	4,0%	-36 624 658 €	-3,7%	-28 595 291 €	-2,9%
	Max	13 115 652 €	6,5%	-7 944 838 €	-0,8%	5 170 814 €	0,5%
	Min	3 526 884 €	1,8%	-73 485 888 €	-7,4%	-69 959 004 €	-7,0%

Tableau 27 : Bénéfice / coût engendré par la pose des murs antibruit à Chelles/Vaires-sur-Marne (hypothèse MsV)

Sous l'hypothèse où tous les logements sont concernés par des murs sans verdure.

7.3. Interprétation

Nous présentons pour chaque zone, tout d'abord les bénéfices en termes de bruit (B), puis les coûts / bénéfices liés à l'effet visuel (P), et dans un troisième temps, les bénéfices nets considérant à la fois le bruit et les effets visuels des murs (B+P). Ces résultats s'entendent hors coûts de construction des murs.

Pour (B), (P) et (B+P), nous avons également calculé les variations de la valeur immobilière en %. En ce qui concerne (B), nous avons utilisé le nombre de logements et la valeur immobilière moyenne de ceux-ci par intervalles de dB(A) hors catégorie de référence (65-70 ; 70-75 ; +75), que les régressions aient révélé, pour ces intervalles, des effets significativement différents de zéro ou pas. En ce qui concerne (P), nous avons utilisé le nombre de logements et la valeur immobilière moyenne de ceux-ci par intervalles de distance au mur hors catégorie de référence (0-100 ; 100-200 ; 200-300), que les régressions aient révélé, pour ces intervalles, des effets significativement différents de zéro ou pas. En ce qui concerne (B+P), nous avons calculé le rapport entre les variations de la valeur immobilière (en valeur absolue) et la valeur immobilière totale des logements hors catégorie de référence (valeur moyenne X nombre de logements) :

- **Cas de Noisy-le-Sec et Bondy :**

- o (B) = 14 294 354 € (euros 2010) ; soit une augmentation de 4,1% de la valeur immobilière (min = 4 866 715 € (1,4%) et max = 22 778 075 € (6,5%)) pour les 3155m d'écrans construits, soit 4531 € par mètre linéaire d'écran (min = 1543 € et max = 7220 €) ;
- o (P) = -34 751 300 € (euros 2010) ; soit une diminution de la valeur immobilière de -3,3% (min = -64 990 031 € (-6,2%) et max = -1 291 642€ (-0,1%)) pour les 3155m d'écrans construits, soit -11 015 € par mètre linéaire d'écran (min = -20 599 € et max = - 409 €) ;
- o (B+P) = -20 456 946 € (euros 2010) ; soit une diminution de la valeur immobilière de -2% (min = -60 123 316 € (-5,8%) et max = 21 486 434€ (2,1%)) pour les 3155m d'écrans construits, soit -6484 € par mètre linéaire d'écran (min = -19 057 € et max = 6810 €) ;

- **Cas de Chelles et Vaires-sur-Marne** (hypothèse actuelle : appartement + la moitié des maisons = mur sans verdure ; l'autre moitié des maisons = mur avec verdure) :

- o (B) = 8 029 367 € (euros 2010) ; soit une augmentation de 4% de la valeur immobilière (min = 3 526 884 € (1,8%) et max = 13 115 652 € (6,5%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit 2490 € par mètre linéaire d'écran (min = 1094 € et max = 4067 €) ;
- o (P) = -17 371 881 € (euros 2010) ; soit une diminution -1,7% de la valeur immobilière (min = -52 309 719 € (-5,2%) et max = 16 412 222 € (1,6%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit -5387 € par mètre linéaire d'écran (min = -16220 € et max = 5089 €) ;
- o (B+P) = -9 342 514 € (euros 2010) ; soit une diminution de -0,9% de la valeur immobilière (min = -48 782 835 € (-4,9%) et max = 29 527 874 € (3%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit -2897 € par mètre linéaire d'écran (min = -15126 € et max = 9156 €) ;

- **Cas de Chelles et Vaires-sur-Marne** (en supposant qu'il n'y a pas de mur avec verdure) :

- o (B) = 8 029 367 € (euros 2010) ; soit une augmentation de 4% de la valeur immobilière (min = 3 526 884 € (1,8%) et max = 13 115 652 € (6,5%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit 2490 € par mètre linéaire d'écran (min = 1094 € et max = 4067 €) ;
- o (P) = -36 624 658 € ; soit une diminution de -3,7% de la valeur immobilière (min = -73 485 888 € (-7,4%) et max = -7 944 838 (-0,8%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit -11 356 € par mètre linéaire d'écran (min = -22 786 € et max = -2464 €) ;
- o (B+P) = - 28 595 291 € (euros 2010) ; soit une diminution de -2,9% de la valeur immobilière (min = -69 959 004 € (-7%) et max = 5 170 814 € (0,5%)) pour les 3 225 mètres d'écrans construits, soit -8867 € par mètre linéaire d'écran (-21693 € et max = 1603 €).

Rappelons que les budgets globaux des opérations de traitement de bruit (mise en place d'écrans et isolation de façade) sont les suivants :

- Noisy-le-Sec/Bondy : 18,8 M€ (soit 5 959 € par mètre de linéaire d'écran)
- Chelles/Vaires-sur-Marne : 15,91 M€ (soit 4 933 € par mètre de linéaire d'écran).

Par conséquent, il apparaît que le bilan Coûts Bénéfices de la pose de murs antibruit hors coûts de construction dépend de manière cruciale du traitement esthétique des murs et plus généralement de leur insertion harmonieuse dans l'environnement urbain.

À Noisy-le-Sec / Bondy et à Chelles et Vaires-sur-Marne (scénario mur sans verdure), la dépréciation due à l'effet visuel (P) est respectivement de -3,3% et -3,7% alors qu'à Chelles et Vaires-sur-Marne (scénario où la moitié des murs est cachée par de la verdure) la dépréciation est de -1,7%. Lorsqu'on considère les deux effets (B+P), ces chiffres sont respectivement de -2%, -2,9% et -0,9%. Ainsi, si la totalité des murs était cachée par de la verdure, on peut supposer que le bilan Coûts Bénéfices hors coûts de construction serait neutre.

8. CONCLUSION GÉNÉRALE : QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LA DÉFINITION DE VALEURS SYNTHÉTIQUES À MOBILISER DANS LES ÉVALUATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES DU BRUIT ?

L'objectif de la recherche était de contribuer à développer une méthodologie pour évaluer les bénéfices/coûts des projets de pose de murs antibruit. L'étude a proposé en ce sens deux cas d'évaluation empirique (Noisy-le-Sec/Bondy, (Département de la Seine-Saint-Denis) et Chelles/Vaires-sur-Marne, (Département de la Seine-et-Marne)). Elle représente à ce titre une première dans le domaine de l'évaluation des bénéfices ou dommages liés à la mise en place des murs antibruit en France, ainsi que dans la valorisation du bruit ferroviaire.

La question principale que le projet ECOBRUIT s'est proposé de traiter était celle de l'effet du bruit ferroviaire sur le prix de l'immobilier dans un contexte de traitement du bruit par la pose de murs antibruit. En cours de recherche, il est apparu que ce traitement du bruit pouvait avoir des effets négatifs sur le prix de l'immobilier. Nous avons donc à la fois quantifié le gain immobilier provenant de la réduction du bruit et la perte provenant de l'effet esthétique. La présence de cet effet esthétique vient confirmer des résultats déjà présents dans la littérature.

La méthode d'analyse utilisée a conduit à associer MPH et SIG, en mobilisant différentes sources de données telles les bases de données notariales sur les transactions immobilières (base BIEN) réalisées avant et après la pose des murs et les cartographies de bruit ferroviaire.

La présente étude a permis de dégager des résultats novateurs sur le plan empirique et a permis une réflexion autour des enjeux de la monétarisation des effets des murs antibruit.

8.1.1. Courte synthèse des travaux

D'abord, l'ensemble des résultats obtenus à partir de la méthode des prix hédoniques suggère quelques conclusions :

1. Le bruit ferroviaire a un effet négatif et significatif sur le prix des logements. Dans les différents modèles de régression utilisant les variables bruit mesurées en LDEN (données CEREMA), une augmentation d'un décibel (une réduction) du bruit, engendre, une baisse approximative du prix de 0,3 à 0,7% (quand on garde constant les autres caractéristiques des logements). Les résultats sont convergents entre les maisons et appartements et conformes à ceux obtenus à l'étranger (0,3 - 0,7%).
2. Le bruit ferroviaire mesuré à l'aide de l'indice LN a aussi un effet dépréciatif sur le prix, mais la valeur seuil à partir de laquelle on observe un effet significatif est généralement inférieure de 5 dB (A) par rapport à celle de la variable LDEN.
3. La comparaison des résultats obtenus à l'aide de l'indice LDEN (données CEREMA) et LD (calculs effectués par SNCF-Réseau) dont les méthodes de calculs n'utilisent pourtant pas les mêmes hypothèses, suggère des résultats convergents en termes de pourcentage de dépréciation par décibel (0,4 - 0,8%).
4. Les variables distances par rapport au mur antibruit sont des prédicteurs potentiels de l'effet esthétique de cette infrastructure. Quand le mur est visible, la dépréciation observée est de l'ordre de 10,6 à 12,1% pour les maisons situées à moins de 100m du mur. Pour les appartements, la dépréciation observée est de 4,7 à 9,1% pour la même distance. Inversement, quand le mur n'est pas visible, c'est-à-dire caché derrière des végétations, la pose de mur engendre une hausse du prix. C'est par exemple le cas des résultats observés

sur les maisons à Chelles/Vaires-sur-Marne, avec un effet observé sur le prix de l'ordre de 5,5% pour les maisons situées à moins de 200m.

5. Il apparaît que le bilan Coûts Bénéfices de la pose de murs antibruit hors coûts de construction dépend de manière cruciale du traitement esthétique des murs et plus généralement de leur insertion harmonieuse dans l'environnement urbain. À Noisy-le-Sec / Bondy et à Chelles et Vaires-sur-Marne (scénario mur sans verdure), la dépréciation due à l'effet visuel (P) est respectivement de -3,3% et -3,7% alors qu'à Chelles et Vaires-sur-Marne (scénario où la moitié des murs est cachée par de la verdure) la dépréciation est de -1,7%. Lorsqu'on considère les deux effets (B+P), ces chiffres sont respectivement de -2%, -2,9% et moins -0,9%. Ainsi, si la totalité des murs était cachée par de la verdure, on peut supposer que le bilan Coûts Bénéfices hors coûts de construction serait neutre.

8.1.2. Peut-on tirer des enseignements en termes de valeurs synthétiques ?

Les résultats obtenus dans les zones de Noisy-le-Sec / Bondy et Chelles et Vaires-sur-Marne sont évidemment tributaires des caractéristiques du bâti de ces communes, comme des caractéristiques du voisinage. Par conséquent, il convient d'être prudent avant de les extrapoler à d'autres zones possédant d'autres caractéristiques.

Pour une méthode détaillée, il faudrait pouvoir :

1. Estimer le nombre de logements concerné par l'effet (B) et l'effet (P) par catégorie de dB(A) et de distance au mur ;
2. Estimer la valeur moyenne des variables continues de la régression hédonique (par exemple, superficie moyenne du logement) ;
3. Compter pour chaque variable discrète (hors catégorie de référence) le nombre de logements par catégorie (par exemple, nombre de logements avec jardin) ;
4. Utiliser les coefficients estimés par la régression hédonique de cette étude pour calculer les valeurs immobilières des types de logements par rapport à la catégorie de référence selon les variables discrètes ;
5. Calculer (B+P) en euros (€) puis en pourcentage sur la base des points 1) à 4).

Pour une méthode simplifiée, il faudrait pouvoir :

1. Estimer le nombre de logements concerné par l'effet (B) et l'effet (P) par catégorie de dB(A) et de distance au mur ;
2. Estimer les valeurs immobilières moyennes par catégories de dB(A) et catégories de distance au mur ;
3. Utiliser les NDSI de cette étude pour l'effet (B) et les pourcentages de variation pour l'effet (P) ;
4. Calculer (B+P) en euros (€) et puis en pourcentage.

8.1.3. Ouverture sur les limites de l'étude, les perspectives de recherche futures

Au terme de cette étude, nous avons pu consolider un certain nombre de résultats d'intérêt, permettant de répondre aux objectifs fixés lors du démarrage des travaux. Plusieurs composantes de ce travail mériteraient toutefois d'être encore approfondies pour renforcer la validité des résultats et faciliter leur interprétation.

- Tout d'abord, du point de vue de la méthode des prix hédoniques, si nous avons pu mettre en évidence un effet significatif de l'esthétique des murs, il devrait être possible d'améliorer la précision statistique des résultats avec un échantillon comprenant plus d'observations.
- Ensuite, nous avons souligné que, dans la perspective d'établir des valeurs tutélaires à l'aide de la méthode détaillée, le bilan Coûts Bénéfices des murs dépend de la connaissance d'un certain nombre de caractéristiques (bâti, environnement, etc.) ainsi que du type de mur (avec ou sans verdure par exemple). Plusieurs pistes de travail pourraient être approfondies :
 - La méthode d'estimation du nombre de logements. Celle que nous avons utilisée dans cette étude se rapporte à l'IRIS. Si le nombre de logements s'avère surestimé, les résultats traduiraient alors une surestimation des coûts/bénéfices des murs. Pour affiner la méthode, il conviendrait donc de tenir compte de l'emplacement des bâtiments dans l'espace ainsi que du nombre d'étages.
 - L'analyse de différents types de murs. Les cas traités ici portent seulement sur les murs avec et sans verdure et principalement en béton. Certes, ils couvrent a priori les deux cas extrêmes (le pire et le meilleur), mais l'exploration d'autres terrains avec d'autres types de murs (bois, métallique, etc.) pourrait être souhaitable.
 - Les terrains que nous avons étudiés ici concernent seulement les zones urbaines. En zone rurale, d'autres problèmes potentiels peuvent se produire, notamment l'effet sur l'écosystème (Arenas, 2008). Des études de cas sur ces zones pourraient être importantes pour enrichir les résultats.
- Enfin, considérant plus largement la problématique des évaluations socio-économiques du bruit ferroviaire, un axe de recherche apparaît particulièrement intéressant dans le prolongement de nos travaux. En effet, les discussions tenues entre les protagonistes du projet lors des derniers comités de pilotage (juin 2017) ont mis en lumière la multiplicité des scénarios de protection qui ne se limitent pas seulement à la pose de murs. Il est ainsi apparu qu'il serait pertinent, sur la base de la méthodologie développée dans ECOBRUIT, de travailler plus spécifiquement sur le bruit émis par le train, en intégrant par exemple l'évaluation des impacts sur le prix de l'immobilier de solutions de rétrofit des matériels. De tels résultats pourraient permettre d'avoir une vision plus globale de la problématique du bruit ferroviaire, notamment dans le contexte de la révision de la STI au niveau européen qui obligerait le système ferroviaire à accélérer le rééquipement des wagons. Au début des années 2000, le Projet « Coût du dB » financé par le Ministère en charge des Transports et la SNCF, a déjà permis d'étudier le rapport coût bénéfice de différentes solutions de réduction du bruit ferroviaire (combinaisons de scénarios intégrant notamment freinage composite, absorbeurs, écrans...). Les résultats ont été retranscrits en considérant le rapport coût / efficacité de protection. Dans cette étude, les bénéfices étaient évalués en termes de pourcentage de la population gênée. Pour prolonger cette réflexion, il serait sans doute pertinent de procéder à une mise à jour de cette analyse en calculant les bénéfices sur la base des gains de valeur immobilière.

9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACOUPHEN (2016). Mesures acoustiques à l'arrière des écrans acoustique mis en place à By et Noisy-le-Sec le long des voies ferrées.

ANDERSSON, H., JONSSON, L., & ÖGREN, M., 2010. Property prices and exposure to multiple noise sources: Hedonic regression with road and railway noise. *Environmental and resource economics*, vol. 1, n°45, p. 73-89.

ANDERSSON, H., JONSSON, L., & ÖGREN, M., 2013. Benefit measures for noise abatement: calculations for road and rail traffic noise. *European Transport Research Review*, vol. 3, n°5, p.135-148.

ARENAS, J. P., 2008. Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise. *Science of the total environment*, n° 405, p. 173-179.

BABISCH, W., 2002. The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise Health*, vol.4, n°16, p.1-11.

BARANZINI, A., RAMIREZ, J., SCHAEERER, C., THALMANN, P. (Eds.), 2008. *Hedonic Methods in Housing Markets. Pricing Environmental Amenities and Segregation*. Springer.

BOITEUX, M., 1994. Transports : pour un meilleur choix des investissements. Rapport technique, Commissariat Général du Plan, France.

BONTEMS, P., & ROTILLON, G. 2010. *L'économie de l'environnement*. Paris : La Découverte.

BRECHET, T., GERARD, A., MION, G., 2009. Une évaluation objective des nuisances subjectives de l'aéroport de Bruxelles-National. *Regards économiques [en ligne]*, n°66 (Février 2009). Disponible sur : http://www.regards-economiques.be/images/reco-pdf/reco_77.pdf (Consulté le 25/07/2014).

BROSSARD, T., JOLY, D., TOURNEUX, F.P. et al, 2008. La valeur économique des paysages des villes périurbanisées. *Économie publique*, n°20, p. 11-35.

BRUNEL, J., 2014. Le cas des évaluations des investissements ferrés. Séminaire monétarisation, 10 décembre 2014. TRAJECTOIRE GIU : FRR/SNCF INFRA/DCF.

CALCOEN, F., CORNUEL, D., LELEU, H., 2003. Caractéristiques hédoniques et changement Environnemental : la couverture de l'autoroute A1. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, Armand Colin, p. 597 à 621

CAN A., MEGBOLUGE I., 1997. Spatial dependence and house price index construction. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol.14, p.203-222.

CAN, A., 1992. Specification and estimation of hedonic housing price models. *Regional Science and Urban Economics*, vol.22, p.453-474.

CAVAILHES, J., 2005. Le prix des attributs des logements. *Économie et Statistique*, n°381, p.91-123.

CAVAILHESN, J., BROSSARD, T., HILAL, M., JOLY, D., TOURNEUX, P-F., TRITZ, C., ET WAVRESKY, P., 2007. Le prix des paysages périurbains. *Economie rurale, Agricultures, alimentations, territoires*, p. 297-298.

CHANG, J. S., & KIM, D. J., 2013. Hedonic estimates of rail noise in Seoul. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 19, p. 1-4.

COHEN, J.P., COUGHLIN, C.C. (2006). *Spatial Hedonic Models of Airport Noise, Proximity, and Housing Prices*. Federal Reserve Bank of St. Louis: Working Paper, 026C.

COHEN, J.P., COUGHLIN, C.C., 2006. *Spatial Hedonic Models of Airport Noise, Proximity, and Housing Prices*. Federal Reserve Bank of St. Louis: Working Paper, 026C

COURT A.T., 1939. Hedonic Price Indexes with Automotive Examples. In *The Dynamics of Automobile Demand*, New-York, The General Motos Corporation, p. 99-117.

CROPPER, M., DECK, L. ET MCCONNELL, K., 1988. On the choice of functional form for hedonic price functions. *The Review of Economics and Statistics*, vol.70, n°4, p. 668-675.

DAY, B., BATEMAN, I., & LAKE, I., 2007. Beyond implicit prices: recovering theoretically consistent and transferable values for noise avoidance from a hedonic property price model. *Environmental and resource economics*, vol. 1, n°37, p. 211-232.

DEKKERS, J. E., & VAN DER STRAATEN, J. W., 2009. Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport. *Ecological Economics*, vol. 11, n°68, p.2850-2858.

Desponds, D., Bergel, P. (2014). La mauvaise réputation ». Distance aux ZUS et prix de l'immobilier : application d'un modèle hédonique à six intercommunalités franciliennes. *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne]*, Espace, Société, Territoire, document 673, mis en ligne le 16 avril 2014, (page consultée le 28 mai 2015) <http://cybergeo.revues.org/26283> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26283

ESPEY, MOLLY & HILARY LOPEZ., 2000. The Impact of Airport Noise and Proximity on Residential Property Values. *Growth and Change*, n°31, p.408-419

EUROSTAT, 2013. Manuel des indices des prix de l'immobilier résidentiel (IPIR). EUROSTAT, Série : Methodologies & Working papers.

FABUREL, G. ET MALEYRE, I. (2007). Le bruit des avions comme facteur de dépréciations immobilières, de polarisation sociale et d'inégalités environnementales. Le cas d'Orly. *Développement durable et territoires [en ligne]*, Dossier 9 : inégalités écologiques, inégalités sociales, (page consultée le 18/01/2010) <http://developpementdurable.revues.org/2775>.

FRITSCH B., 2007. Tramway et prix des logements à Nantes. *L'espace géographique*, vol. 36, No.2, 97-113.

GODIN, C. & ALIADIÈRE, L., 2000. La lutte contre le bruit ferroviaire. *Anales de la stratégie SNCF [en ligne]*. Disponible sur : < <https://www.bruitparif.fr/pages/Thematiques/800%20Bruit%20ferroviaire/>

400%20Autres%20ressources/2000-01-01%20-%20La%20lutte%20contre%20le%20bruit%20ferroviaire%20-%20Annales%20de%20la%20strat%C3%A9gie%20SNCF%202000.pdf> (Consulté le 22/07/2017).

GRILICHES, Z., 1961. Hedonic Price Indexes for Automobiles: An Econometric Analysis of Quality Change. The Price Statistics of the Federal Government, General Series No 73, New York: Columbia University for the National Bureau of Economic Research, 137-196. Reprinted in Zvi Griliches ed. Price Indexes and Quality Change: Studies in New Methods of Measurement, Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1971, p.55-87.

HERMAN, L. A., MICHAEL A. FINNEY, CRAIG M. CLUM, & PINCKNEY E. W., 1997. Perception of Traffic Noise Barrier Effectiveness. Public Opinion Survey of Residents Living near I-71. Transportation research record 1601, Paper No. 970230, p. 49-54.

Hill, R.J., 2011. Hedonic Price Indexes for Housing. OECD Statistics Working Paper 2011/1. Paris: OECD Publishing.

HILL, R.J., D. MELSER & B. REID, 2010. Hedonic Imputation with Geospatial Data: An Application of Splines to the Housing Market, Mimeo.

INSEE (2014). Les indices Notaires-Insee de prix des Logements anciens. INSEE Méthode, n°128, Juillet.

JULIEN, B., LANOIE, P., 2007. The Effect of Noise Barriers on the Market Value of Adjacent Residential Properties. International Real Estate Review, vol. 10, n°. 2, p. 113 -130

KAIL, J.-M., LAMBERT, J. ET QUINET, E., 1999. Evaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores. Rapport n°16, CADAS (Comité des applications de l'académie des sciences), Paris, CADAS, novembre 1999.

LAMBERT, J., 2005. L'impact du bruit des avions sur le marché immobilier. État des connaissances et études envisageables. Rapport préparé à la demande de l'ODESA.

LANCASTER, K., 1966. A New Approach to Consumer Theory. Journal of Political Economy, n°74, p.132-157.

Le Gallo, J., 2000. Économétrie spatiale : autocorrélation spatiale. Économie et Prévision, n°2000-05.

LOLLIVIER, S., 2006. Econométrie avancée des variables qualitatives. Paris : ECONOMICA, 171p.

MALEYRE, I. (1997). L'approche hédonique des marchés immobiliers. Etudes foncières, vol. 76, p. 22-29.

MIEDEMA, H. M. E., & OUDSHOORN, C. G. M., 2000. Elements for a position paper on relationships between transportation noise and annoyance. TNO Prevention and Health, TNO report PG/VGZ.

MIGNON, V., 2008. Econométrie : Théorie et applications. Paris : ECONOMICA, 368p.

MORAN P., 1948. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society*, 10B, p. 243- 251.

NAKAKEETO, G., POPE, J., SHAIKH, R, ASARE, E., 2017. The impact of Highway Noise Barriers on the Housing prices of Neighborhoods. Paper provided by Southern Agricultural Association, Annual meeting, February 4-7, 2017, Alabama.

NAVRUD, S., 2002. The state-of-the-art on economic valuation of noise. Final report to European Commission DG Environment, 14.

NELSON J.P., 1980. « Airports and property values: A survey of recent evidence ». *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 14, n°1, p. 37-52.

Nelson, J.P., 2008. Hedonic Property Value Studies of Transportation Noise: Aircraft and Road Traffic. Department of Economics: Pennsylvania State University, 29p.

PALMQUIST, R., 1992. Valuing localized externalities. *Journal of Urban Economics*, vol. 32, pp. 40-44.

PAN, O., 2012. The impacts of an urban light rail system on residential property values: a case study of the Houston METRORail transit line. *Transportation Planning and Technology*, vol. 36, p. 145-169.

PEARCE, D., ATKINSON, G., MOURATO, S., 2006. Analyse coûts-bénéfices et environnement. Paris : OCDE, 351p.

PERFATER M., 1980. Community perception of noise barriers. Volume II. Charlottesville: Virginia Highway and Transportation Research Council.

PNB Noisy-le-Sec Bondy. Ecran acoustique et protection des façades Noisy-le-Sec/Bondy. Dossier de presse.

QUINET, E., 2013. L'évaluation socio-économique des investissements publics, rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective. Paris : La Documentation Française.

RENAUD, L., 2016. Projet ECOBRUIT – LOT 1. La valorisation économique du bruit ferroviaire. De l'exploitation d'études empiriques à l'élaboration des valeurs tutélaires : un état de l'art. Livrable 1.

RICCI, A., 2004. Évaluation des coûts externes et définition des politiques, in de Palma A. et Quinet E., *La tarification des transports : enjeux et défis*. Paris : Economica, pp. 179-196.

ROSEN S., 1974. Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, vol. 82, no 1, p. 34-55.

RUSSELL, C.S, 2001. *Applying Economics to the Environment*. Oxford University Press.

SALVI, M., 2003. Spatial estimation of the impact of airport noise on residential housing prices. Unpublished Paper, Zürich Cantonal Bank, Real Estate Unit.

SALVI, M., 2009. Assessing Airport Noise, Demand for Quietness and Land-Structure Substitution: Three Applications of the Hedonic Model in Switzerland. These : Science. Suisse : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 94p.

SNCF- IG.LG.ENV, 2009. Résorption des Points Noirs du Bruit Ferroviaire en Ile-de-France Communes de Bondy et Noisy-le-Sec Etude acoustique complémentaire.

SNCF Réseau. Prévenir et réduire le bruit ferroviaire pour un cadre de vie réservé [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.sncf-reseau.fr/fr/a-propos/developpement-durable/environnement/reduction-bruit>> (Consulté le 31/08/2017).

STRAND, J., & VÅGNES, M., 2001. The relationship between property values and railroad proximity: a study based on hedonic prices and real estate brokers' appraisals. Transportation, vol. 28, n°2, p. 137-156.

TAYLOR, L.O., 2003. The Hedonic Method, in Champ, P.A., Boyle, K.J. et Brown, T.C. (eds), Primer on Nonmarket Valuation, Kluwer Academic Publishers.

TERRA, S., 2005. Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la méthode des prix hédoniques. Série méthode 05-m01.

TNS SOFRES, 2010. Les Français et les nuisances sonores. Principaux résultats [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.tns-sofres.com/sites/default/files/2010.06.29-nuisances-sonores.pdf>> (Consulté de 03/10/2016).

TRAVERS, M., APPERE, G., LARUE, S., 2013. Évaluation des aménités urbaines par la méthode des prix hédoniques : une application au cas de la ville d'Angers. Economie et statistique, vol 460, n°1, p. 145-163.

USDT. US Department of Transportation, Keeping the noise down—Highway traffic noise barriers, Publication No FHWA-EP-01-004, Federal Highway Administration, Washington, DC; 2001.

VIOLLON, S., LAVANDIER, C., 2002. Approche environnementale des écrans acoustiques. Actes du 6e Congrès Français d'Acoustique, p. 106-109.

WALTERS, A.A., 1975. Noise and Prices. Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press, 148 p.

ANNEXE 1

RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE DE PERFATER (1980)

	Combination Wood and Concrete Barriers Barrier A	Combination Wood and Concrete Barriers Barrier B	Wood plank barrier	Combination wood panel and earth berm	Metal panel (grey)	Metal panel on earth berm A (beige)	Metal panel on earth berm B (blue)	Concrete on earth berm
Caractéristiques								
Trafic journalier	111 200	106 250	14 320	113 790	2 810	113 790	90 480	143 350
Hauteur de la barrière	1,2 à 7,3m	3,9 à 9m	2,44m	1,2 à 7m	4,5m	0,6 à 3,7m	3,66m	3,7 à 6m
Attitude générale : « On the whole, how satisfied or dissatisfied are you with noise barriers ? »								
Satisfait	63%	56%	60%	57%	64%	66%	40%	41%
Insatisfait	29%	29%	22%	32%	16%	24%	48%	45%
Sans opinion	8%	15%	17%	12%	20%	10%	12%	14%
Réduction du bruit: « What effect do you think the noise barrier is having in noise? »								
Grand effet	17%	21%	27%	10%	23%	32%	10%	5%
Effet modéré	46%	28%	29%	37%	41%	29%	25%	30%
Effet faible ou sans effet	37%	45%	38%	49%	16%	34%	60%	41%
Sans opinion	0%	6%	6%	4%	20%	5%	5%	24%
Esthétique et autres attributs :								
• « Do you feel that the noise barriers are attractive or unattractive from the road? »								
Attrayant	39%	42%	59%	41%	41%	39	45	21
Pas attrayant	22%	40%	26%	42%	36%	44	45	61
Ni désirable ni indésirable	39%	18%	15%	17%	23%	17	10	18
Sans opinion								
• How about as viewed from your house?								
Attrayant	33%	46%	54%	28%	39%	69%	45%	6%
Pas attrayant	42%	36%	18%	50%	32%	26%	45%	75%
Ni désirable ni	25%	18%	28%	22%	29%	5%	10%	19%

indésirable									
Sans opinion									
• <i>If you were given a choice to have the barrier or not to have it, what would you choose?</i>									
Préfère aucun antibruit	13%	13%	13%	21%	9%	7%	33%	50%	
Préfère le mur tel qu'il est	54%	46%	54%	43%	38%	46%	42%	18%	
Préfère le mur avec modification	25%	37%	30%	30%	46%	41%	18%	32%	
Sans préférence et autres réponses	8%	4%	3%	6%	4%	6%	7%	0%	
<i>Effet sur la valeur immobilière: « Do you feel the barrier has : increased, decreases the value of your home ? Or perhaps: had no effect, maintain value, non-opinion, N/A?</i>									
Augmentation	29%	37%	34%	28%	21%	53%	22%	14%	
Diminution	0%	5%	20%	5%	13%	3%	2%	21%	
Sans effet	38%	59%	36%	49%	50%	35%	73%	49%	
Sans opinion	33%		10%	18%	16%	9%	3%	16%	
<i>Source : Réalisé à partir de Perfater, 1979</i>									

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
BIEN	Bases alimentées par les actes de vente ou les extraits d'acte de vente enregistrés par les Notaires Format électronique (SAS Excel, ...)	Au total, plus d'une centaine de critères relatifs à : <ul style="list-style-type: none"> - La localisation du bien - Les références cadastrales et les coordonnées géographiques x et y - Les caractéristiques du bien - Les caractéristiques de la vente - Les profils socio-économiques des vendeurs et acquéreurs - Les prix - La mutation précédente 	Depuis 1990 à Paris et en Petite Couronne et depuis 1996 pour les restes de la région IdF	Ile-de-France	à étudier en fonction de plusieurs paramètres ⁱ 0,30 € par référence dans notre cas	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilitéⁱⁱ - Richesse des informations - Renseignent les coordonnées x et yⁱⁱⁱ - Excellent taux de renseignement des variables fondamentales^{iv} - Le délai d'acquisition peut être très court - Les bases sont mises à jour tous les trimestres - Exhaustivité 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'acquisition - Absence de variables relatives à l'état de l'isolation phonique des logements
PERVAL		Depuis 1994	Province	0,50 € par référence ^v			
Fichiers d'extraits d'actes de la DGI	Base alimentée par les copies des actes de ventes obligatoirement envoyées au bureau des	Informations limitées ^{vii} à : <ul style="list-style-type: none"> - N° d'identification de l'acte - références cadastrales - date de l'acte - nature de la transaction - caractéristiques de 	Depuis 1956	Toute la France	30 € par acte ^{viii}	<ul style="list-style-type: none"> - C'est la source la plus fiable et la plus exhaustive de toutes les sources 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'acquisition - Délais puisque la formalité demande plusieurs mois (environ 6 mois) - Données non centralisées

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
	Hypothèques ^{vi}	<ul style="list-style-type: none">- l'acquéreur et du vendeur- nature du bien- superficie- année de la précédente mutation- montant de la transaction- destination du bien- origine de la propriété					<ul style="list-style-type: none">- Informations limitées- Absence de variables relatives à l'état de l'isolation phonique des logements

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
BASE ŒIL des Services des domaines	Les données sont issues de la base cadastrale MAJIC 2 et des extraits d'actes détenus au bureau des hypothèques ^x . Format électronique	<ul style="list-style-type: none"> - section cadastrale - adresse, - prix de la transaction - type de logement, - surface de la parcelle, - surface du logement, - année de la construction, - Ne contient aucune information sur le vendeur et l'acquéreur 	Données fournies pour les cinq années écoulées	ŒIL n'est pas disponible dans tous les Départements .	Gratuit	<ul style="list-style-type: none"> - Accès gratuit (sous certaines conditions notamment de confidentialité) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fichiers non disponibles dans tous les Départements - Fichiers non centralisé : l'accès aux données est à étudier en contactant directement les services fiscaux du (ou des) département(s) concerné(s) par l'aire d'étude^x - variables relatives à l'état de l'isolation phonique des logements ?
Les fichiers des DIA	Données alimentées par les déclarations d'intention d'aliéner effectuées par le vendeur après de la commune concernée.	<ul style="list-style-type: none"> - identité du propriétaire, - adresse du bien, - nature du bien, - usage, occupation, notification du prix HT, etc. 	?	Ne couvre que les zones U et NA du POS	Gratuit, le coût est égal au temps requis pour relever les informations	<ul style="list-style-type: none"> - Accès gratuit - Fiabilité - Excellent taux de renseignement des variables 	<ul style="list-style-type: none"> - Le délai et le coût éventuel des saisies pourront être fortement élevés - Ne couvre pas tout le territoire (seulement les zones urbaines ou immédiatement urbanisables)

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
	Format électronique ou papier						<ul style="list-style-type: none">- Les DIA ne sont que des projets de vente, certaines déclarations ne sont pas suivies par une transaction^{xi}- variables relatives à l'état de l'isolation phonique des logements ?

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
Les données du FNAIM ^{xii}	Données issues des transactions enregistrées par les professionnels de l'immobilier adhérents ^{xiii} Format électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Le prix de vente, - Les caractéristiques intrinsèques des logements : surface, nombre de pièces, nombre de chambre, surface jardin, date de construction, etc. - Les caractéristiques extrinsèques des logements - Les caractéristiques des acheteurs^{xiv} 	Depuis 1946	Toute la France	Gratuit, le coût est égal au temps requis pour relever les informations	<ul style="list-style-type: none"> - Cette base n'est pas commercialisée, mais une collaboration est possible avec les agences FNAIM afin d'obtenir les données nécessaires pour l'étude. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps important consacré à la constitution de la base, - Non exhaustivité : nombre relativement restreint des données pouvant être collectées^{xv}
Enquête logement INSEE ^{vi}	La base est alimentée par l'enquête logement réalisée par l'INSEE ^{xvii} Cette base concerne les loyers et non les prix Format	Les informations disponibles comprennent : <ul style="list-style-type: none"> - les loyers, - les caractéristiques physiques du parc de logement (taille, confort sanitaire, etc.) - qualité de l'habitat - etc. 	Observation tous les quatre à 7 ans	Toute la France	Gratuit	<ul style="list-style-type: none"> - Richesse de l'information contenue dans la base - Accès gratuit (mais les données sont-elles accessibles à l'échelle individuelle?) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise à jour tous les quatre à 7 ans (dernière collecte : juin 2013 à juin 2014) - L'enquête est réalisée sur échantillon de logement

ANNEXE 2

PRESENTATION DES SOURCES DE DONNEES SUR LES TRANSACTIONS IMMOBILIERES

Source	Description de la base	Les informations contenues dans la base	Périodes couvertes	Couverture géographique	Coût d'accès	Avantages	Limites
	électronique						

ⁱ Le tarif pour l'acquisition de données brutes est à étudier selon notamment : la nature de l'organisme acquéreur et la finalité de l'étude (recherche, etc.), la période (les données anciennes coûtent moins chères que les données récentes), la quantité demandée (le tarif est dégressif en fonction du volume de la commande), la couverture géographique, etc. (source : resp. de la commercialisation des données de la base BIEN)

ⁱⁱ Elles sont notamment utilisées par l'INSEE pour la production des indices des logements anciens (Indices Notaires-INSEE). Elles sont devenues un outil incontournable et reconnu pour l'exploitation, le suivi et l'analyse du marché immobilier. Elles sont notamment utilisées par BIPE (2004), G.Faburel et I. Maleyre (2007), N. Sedoarisoa (2015) pour l'évaluation de l'impact du bruit des avions sur le prix immobilier, D. Desponds et P. Bergel (2014) pour l'évaluation de l'effet sur le prix immobilier de la distance aux ZUS, E. Boucq et al. (2011) pour l'évaluation de l'impact du tramway T3 sur le prix immobilier, etc.

ⁱⁱⁱ Ces renseignements permettent de tenir compte de l'éventuel problème d'autocorrélation spatiale. Elles permettent également de localiser précisément chaque transaction, ce qui permet d'attribuer à chaque logement son niveau précis d'exposition au bruit.

^{iv} Selon une étude de la DREIF en 1999, les variables concernant les informations relatives à la mutation sont extrêmement bien renseignées. Par exemple, les taux de renseignements de la localisation géographique des transactions, de la surface, du prix et du type de mutation de la base BIEN atteignent 100%.

^v Ce tarif correspond au tarif pour les chercheurs (source : resp. de marchés statistiques de la Société Minnot)

^{vi} ... afin d'assurer les formalités de publicité foncière qui rendront la vente opposable aux tiers.

^{vii} V. Renard et al (2001)

^{viii} C'est le tarif qui s'applique à tout le monde. Néanmoins, le législateur a ouvert la possibilité **aux collectivités locales ou aux établissements publics compétents en matière d'urbanisme**, d'obtenir à titre gratuit auprès des services fiscaux les informations contenues dans les extraits d'actes de mutation (Renard et al, 2001). Il s'agit des extraits d'actes notariés transmis de la Conservation des hypothèques aux Centres départementaux des impôts fonciers où ils constituent le fichier des évaluations fiscales et domaniales mis en place en 1975. Cette communication d'information s'effectue sous certaines conditions, précisées par l'article L.135 B du code des procédures fiscales et l'article 378 du code pénal. Elles sont liées :

- **au demandeur**: Le demandeur, service de l'Etat, collectivité locale ou établissement public à caractère administratif doit avoir compétence en matière de politique foncière et d'aménagement.

La communication des actes ne se peut faire qu'à la condition expresse que la mission de service publique du demandeur soit clairement identifiée. Il ne peut donc y avoir aucun commerce sous quelque forme que ce soit des données communiquées par la DGI.

- **à la personne chargée de recueillir les informations**: Elle doit obligatoirement être fonctionnaire du service de l'Etat, agent de la collectivité locale ou membre du personnel qui présente la demande. La personne appelée à prendre connaissance des informations contenues dans les extraits d'actes est soumise au secret professionnel, dans les termes de l'article 378 du code pénal.
- **à l'engagement de non rediffusion des données unitaires**. L'institution chargée de la collecte de l'information doit s'engager à ne pas rediffuser les données unitaires.
- **à la nature des informations**. Selon la circulaire, les informations communicables sont strictement limitées à la liste présentée dans le tableau.

^{ix} Cette base de données est utilisée par les experts des Domaines pour leur travail d'évaluation. La saisie des informations est effectuée par les agents du service des Domaines de chaque Centre des impôts fonciers

^x S. Terra (2005)

^{xi} DREIF (1999)

^{xii} Fédération Nationale des Agents immobiliers

^{xiii} Soit 62% des agents immobiliers d'après les informations fournies par la FNAIM.

^{xiv} Cette source a été mobilisée par M. Travers dans le cadre de sa thèse (Travers, 2010)

^{xv} Selon M. Travers (2010)

^{xvi} C'est cette source que J. Cavailhès a utilisé dans son étude sur « Le prix des attributs des logements » (Cavailhès, 2005).

^{xvii} Par la Direction des statistiques démographiques et sociales

ANNEXE 3

CALCUL DES BENEFICES/COUTS ENGENDRES PAR LA POSE DES MURS ANTI-BRUIT A NOISY-LE-SEC ET BONDY

- Cas des maisons

Calcul de l'effet de la réduction sonore (B)

Prix moyen dans la zone d'influence sonore = 249375 €

N	Niveau de bruit après la pose des murs	Niveau de bruit avant la pose des murs	Delta bruit en dB	NDSI	Nombre de logements dans la zone	Prix moyen de la zone	B par logement	B
NDSI observé	57,5	67,5	10	0,6%	192	251 518 €	15 091 €	2 897 487 €
	62,5	72,5	10	0,5%	170	243 594 €	12 180 €	2 070 552 €
	67,5	77,5	10	0,5%	238	232 831 €	11 642 €	2 770 687 €
	Bénéfice total							
NDSI max	57,5	67,5	10	0,9%	192	251 518 €	22 637 €	4 346 230 €
	62,5	72,5	10	0,8%	170	243 594 €	19 488 €	3 312 883 €
	67,5	77,5	10	0,8%	238	232 831 €	18 626 €	4 433 099 €
	Bénéfice total							
NDSI Min	57,5	67,5	10	0,2%	192	251 518 €	5 030 €	965 829 €
	62,5	72,5	10	0,2%	170	243 594 €	4 872 €	828 221 €
	67,5	77,5	10	0,2%	238	232 831 €	4 657 €	1 108 275 €
	Bénéfice total							

Calcul de l'effet esthétique (P)

Prix moyen dans la zone d'influence esthétique = 248657 €

		Dépréciation en %	Nombre de logement	Prix moyen	P par logement	P
DIST_MUR_100	Observé	-12,10%	614	2244403991,9%	-27 157 €	-16 674 539 €
	Max	-0,10%	614	2244403991,9%	-224 €	-137 806 €
	Min	-22,60%	614	2244403991,9%	-50 723 €	-31 144 181 €
DIST_MUR_200	Observé	0,00%	710	227184567,3%	0 €	0 €
	Max	0,00%	710	227184567,3%	0 €	0 €
	Min	0,00%	710	227184567,3%	0 €	0 €
DIST_MUR_300	Observé	0,00%	689	25203326,7%	0 €	0 €
	Max	0,00%	689	25203326,7%	0 €	0 €
	Min	0,00%	689	25203326,7%	0 €	0 €

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs sur les maisons (B+P)

B

B en %

P

P en %

B+P

B+P en %

Observé

7 738 725 €
5,33%
-16 674 539 €
-3,5%
-8 935 814 €
-1,89%

Max

12 092 212 €
8,33%
-137 806 €
0,0%
11 954 406 €
2,53%

Min

2 902 324 €
2,00%
-31 144 181 €
-6,6%
-28 241 857 €
-5,97%

- Cas des appartements

Calcul de l'effet de la réduction sonore (B)

Prix moyen dans la zone d'influence sonore = 124722 €

N

Niveau de bruit après la pose des murs

Niveau de bruit avant la pose des murs

Delta bruit en dB

NDSI

Nombre de logements dans la zone

Prix moyen de la zone

B par logement

B

NDSI observé

	57,5
	67,5
	10
	0,0%
	462
	132 171 €
	0 €
	0 €
	62,5
	72,5
	10
	0,40%
	433
	124 385 €
	4 975 €
	2 154 355 €
	67,5
	77,5
	10
	0,40%
	371
	124 260 €
	4 970 €
	1 844 012 €
	67,5

77,5
10
0,60%
343
124 260 €
7 456 €
2 557 262 €

Bénéfice total

6 555 629 €

NDSI max

57,5
67,5
10
0,00%
462
132 171 €
0 €
0 €

62,5
72,5
10
0,60%
433
124 385 €
7 463 €
3 231 533 €

67,5
77,5
10
0,60%
371
124 260 €
7 456 €
2 766 018 €

67,5
77,5
10
1,10%
343
124 260 €

13 669 €
4 688 313 €

Bénéfice total

10 685 864 €

NDSI Min

57,5
67,5
10
0,00%
462
132 171 €
0 €
0 €

62,5
72,5
10
0,20%
433
124 385 €
2 488 €
1 077 178 €

67,5
77,5
10
0,10%
371
124 260 €
1 243 €
461 003 €

67,5
77,5
10
0,10%
343
124 260 €
1 243 €
426 210 €

Bénéfice total

1 964 391 €

Calcul de l'effet esthétique (P)

Prix moyen dans la zone d'influence esthétique = 130533 €

Dépréciation en %
Nombre de logement
Prix moyen
P par logement
P

DIST_MUR_100

Observé

	-4,70%
1470	120 545 €
	-5 666 €
	-8 328 420 €

Max

	-0,30%
1470	120 545 €
	-362 €
	-531 601 €

Min

	-8,80%
1470	120 545 €
	-10 608 €
	-15 593 637 €

Observé

	-4,70%
1615	128 428 €
	-6 036 €
	-9 748 341 €

DIST_MUR_200

Max

	-0,30%
1615	

128 428 €
-385 €
-622 235 €

Min

-8,80%

1615

128 428 €
-11 302 €
-18 252 214 €

Observé

0,00%

1493

123 243 €
0 €
0 €

DIST_MUR_300

Max

0,00%

1493

123 243 €
0 €
0 €

Min

0,00%

1493

123 243 €
0 €
0 €

Total P

Observé

-18 076 761 €

Max

-1 153 836 €

Min

-33 845 850 €

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs pour les appartements (B+P)

B

B en %

P

P en %

B+P

B+P en %

Observé

6 555 629 €

3,22%

-18 076 761 €

-3,18%

-11 521 132 €

-2,0%

Max

10 685 864 €

5,25%

-1 153 836 €

-0,20%

9 532 028 €

1,7%

Min

1 964 391 €

0,96%

-33 845 850 €

-5,95%

-31 881 459 €

-5,6%

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs antibruit à Noisy-le-Sec/Bondy (B+P maisons + appartement)

B

B en %

P

P en %		
B+P		
B+P en %		
Observé		
		7 738 725 €
		5,3%
		-16 674 539 €
		-3,5%
		-8 935 814 €
		-1,9%
MA		
Max		
		12 092 212 €
		8,3%
		-137 806 €
		0,0%
		11 954 406 €
		2,5%
Min		
		2 902 324 €
		2,0%
		-31 144 181 €
		-6,6%
		-28 241 857 €
		-6,0%
Observé		
		6 555 629 €
		3,2%
		-18 076 761 €
		-3,2%
		-11 521 132 €
		-2,0%
AP		
Max		
		10 685 864 €
		5,2%
		-1 153 836 €
		-0,2%
		9 532 028 €
		1,7%
Min		
		1 964 391 €
		1,0%
		-33 845 850 €
		-6,0%
		-31 881 459 €

-5,6%

Observé

14 294 354 €
4,1%
-34 751 300 €
-3,3%
-20 456 946 €
-2,0%

MA+AP

Max

22 778 075 €
6,5%
-1 291 642 €
-0,1%
21 486 434 €
2,1%

Min

4 866 715 €
1,4%
-64 990 031 €
-6,2%
-60 123 316 €
-5,8%

ANNEXE 4

CALCUL DES BENEFICES/COUTS ENGENDRES PAR LA POSE DES MURS ANTI-BRUIT A CHELLES ET VAIRES-SUR-MARNE

- Cas des maisons

Calcul de l'effet de la réduction sonore (B)

Prix moyen dans la zone d'influence sonore= 284856,56 €

N

Niveau de bruit après la pose des murs

Niveau de bruit avant la pose des murs

Delta bruit en dB

NDSI

Nombre de logements dans la zone

Prix moyen de la zone

B par logement

B

NDSI observé

57,5
67,5
10
0,3%
222
277 087 €
8 313 €
1 845 397 €

62,5
72,5
10
0,3%
130
284 857 €
8 546 €
1 110 941 €

67,5
77,5
10
0,6%
77
276 969 €
16 618 €
1 279 598 €

Bénéfice total

0,0%

NDSI max

4 235 935 €

57,5
67,5
10
0,5%
222
277 087 €
13 854 €
3 075 661 €

62,5
72,5
10
0,5%
130

284 857 €
14 243 €
1 851 568 €

67,5
77,5
10
1,1%
77

276 969 €
30 467 €
2 345 929 €

Bénéfice total

0,0%

7 273 157 €

NDSI Min

57,5
67,5
10
0,1%
222

277 087 €
2 771 €
615 132 €

62,5
72,5
10
0,1%
130

284 857 €
2 849 €
370 314 €

67,5
77,5
10
0,2%
77

276 969 €
5 539 €
426 533 €

Bénéfice total

0,0%

1 411 978 €

Calcul de l'effet esthétique (P)

Prix moyen dans la zone d'influence esthétique = 328506,23 €

Mur sans verdure

Dépréciation en %

Nombre de logement

Prix moyen

P par logement

P

DIST_MUR_100

Observé

-10,60%

513

328 506 €

-34 821,66 €

-17 863 512 €

Max

-1,00%

513

328 506 €

-3 285,06 €

-2 069 589 €

Min

-19,30%

513

328 506 €

-63 401,70 €

-42 415 739 €

Observé

0%

630

308 121 €

0,00 €

	0 €
DIST_MUR_200	
Max	0%
	630
	308 121 €
	0,00 €
	0 €
Min	0%
	630
	308 121 €
	0,00 €
	0 €
Observé	0%
	669
	309 852 €
	0,00 €
	0 €
DIST_MUR_300	
Max	0%
	669
	309 852 €
	0,00 €
	0 €
Min	0%
	669
	309 852 €
	0,00 €
	0 €

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs pour les maisons (B+P)

B
 B en %
 P
 P en %
 B+P
 B+P en %

Observé	4 235 935 €
---------	-------------

		3,53%
		-17 863 512 €
		-3,1%
		-13 627 577 €
		-2,4%
Max		
		7 273 157 €
		6,07%
		-2 069 589 €
		-0,4%
		5 203 568 €
		0,9%
Min		
		1 411 978 €
		1,18%
		-42 415 739 €
		-7,4%
		-41 003 761 €
		-7,2%

- Cas des appartements

Calcul de l'effet de la réduction sonore (B)

Prix moyen dans la zone d'influence sonore = 161 696 €

N

Niveau de bruit après la pose des murs

Niveau de bruit avant la pose des murs

Delta bruit en dB

NDSI

Nombre de logements dans la zone

Prix moyen de la zone

B par logement

B

NDSI observé

57,5

67,5

10

0,3%

242

174 012 €

5 220 €

1 263 760 €

62,5

72,5

10

0,7%

162
134 547 €
9 418 €
1 525 990 €

67,5
77,5
10
0,6%
103
161 696 €
9 702 €
1 003 682 €

Bénéfice total

0,0%

3 793 433 €

NDSI max

57,5
67,5
10
0,5%
242
174 012 €
8 701 €
2 106 267 €

62,5
72,5
10
1,1%
162
134 547 €
14 800 €
2 397 985 €

67,5
77,5
10
0,8%
103
161 696 €
12 936 €
1 338 243 €

Bénéfice total

0,0%

5 842 495 €

NDSI Min

57,5

67,5

10

0,2%

242

174 012 €

3 480 €

842 507 €

62,5

72,5

10

0,2%

162

134 547 €

2 691 €

435 997 €

67,5

77,5

10

0,5%

103

161 696 €

8 085 €

836 402 €

Bénéfice total

0,0%

2 114 906 €

Calcul de l'effet esthétique (P)

Prix moyen dans la zone d'influence esthétique = 144773,0463 €

Mur sans verdure

Dépréciation en %
Nombre de logement
Prix moyen
P par logement
P
DIST_MUR_100
Observé

-9,10%
729
142 601 €
-12 977 €
-9 460 034 €

Max

-5,50%
729
142 601 €
-7 843 €
-5 717 603 €

Min

-12,60%
729
142 601 €
-17 968 €
-13 098 508 €

Observé

-5,90%
934
168 786 €
-9 958 €
-9 301 112 €

DIST_MUR_200
Max

-0,10%
934
168 786 €
-169 €
-157 646 €

Min

-11,40%
934
168 786 €
-19 242 €
-17 971 640 €

Observé

0%

	986
	170 185 €
	0 €
	0 €
DIST_MUR_300	
Max	
	0%
	986
	170 185 €
	0 €
	0 €
Min	
	0%
	986
	170 185 €
	0 €
	0 €

Total P
Observé

-18 761 146 €

Max

-5 875 249 €

Min

-31 070 149 €

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs pour les appartements (B+P)

B
B en %

P
P en %
B+P
B+P en %

Observé

3 793 433 €
4,70%
-18 761 146 €
-4,4%
-14 967 713 €
-3,5%

Max

5 842 495 €
7,24%
-5 875 249 €
-1,4%
-32 754 €
0,0%

Min

2 114 906 €
2,62%
-31 070 149 €
-7,2%
-28 955 243 €
-6,7%

Bénéfice/coût engendré par la pose des murs pour l'ensemble des logements (B+P maisons+ appartements)

Bénéfice/coût des murs antibruit à Chelles et Vaires-sur-Marne : maisons + appartements= mur sans verdure

B
B en %
P
P en %
B+P
B+P en %

Observé

4 235 935 €
3,5%
-17 863 512 €
-3,1%
-13 627 577 €
-2,4%

MA

Max	7 273 157 €	6,1%
	-2 069 589 €	-0,4%
	5 203 568 €	0,9%
Min	1 411 978 €	1,2%
	-42 415 739 €	-7,4%
	-41 003 761 €	-7,2%
Observé	3 793 433 €	4,7%
	-18 761 146 €	-4,4%
	-14 967 713 €	-3,5%
AP	5 842 495 €	7,2%
Max	-5 875 249 €	-1,4%
	-32 754 €	0,0%
Min	2 114 906 €	2,6%
	-31 070 149 €	-7,2%
	-28 955 243 €	-6,7%
MA+AP	8 029 367 €	4,0%
Observé	-36 624 658 €	-3,7%
	-28 595 291 €	-2,9%
Max	13 115 652 €	

6,5%
-7 944 838 €
-0,8%
5 170 814 €
0,5%

Min

3 526 884 €
1,8%
-73 485 888 €
-7,4%
-69 959 004 €
-7,0%